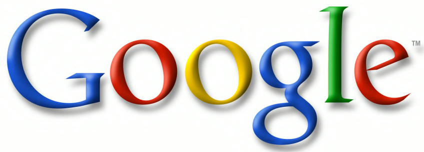
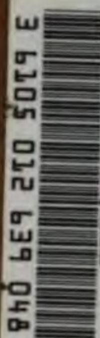



Stanford University Libraries
3 6105 010 639 048



ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

ZOOLOGIE

ET

PALÉONTOLOGIE

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

ZOOLOGIE

ET

PALÉONTOLOGIE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE, LA CLASSIFICATION
ET L'HISTOIRE NATURELLE DES ANIMAUX

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE

M. MILNE EDWARDS

TOME XX

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE DE PARIS
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE
1874

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR L'INFLUENCE

QUE LES

MODIFICATIONS DANS LA PRESSION BAROMÉTRIQUE

EXERCENT SUR LES PHÉNOMÈNES DE LA VIE

Par le Dr Paul BERT,
Professeur de physiologie à la Faculté des sciences de Paris.

Le présent travail est l'abrégé d'un livre en cours de rédaction, où se trouveront exposées avec détails les expériences, au nombre de plusieurs centaines, sur lesquelles reposent les conclusions que je puis donner aujourd'hui. Ce livre pourra être, je l'espère, publié prochainement. Quant au mémoire ci-dessous, il est, à proprement parler, la réunion logiquement coordonnée des diverses notes que j'ai eu l'honneur de présenter sur ce sujet à l'Académie des sciences pendant les années 1871, 1872 et 1873.

Je n'ai fait, dans le mémoire actuel, qu'un historique très-rapide des travaux antérieurs aux miens ; il m'a semblé que ce n'était pas là le point intéressant. J'ai cru pouvoir également me dispenser de donner une description complète des appareils que j'ai employés ; cette description, qui n'est, du reste, pas indispensable pour l'intelligence des faits, trouvera place, avec tous les détails nécessaires, dans l'ouvrage que j'annonce plus haut. Du reste, ces appareils fonctionnent actuellement dans mon laboratoire de la Sorbonne, où les savants qui s'intéressent particulièrement à ces questions pourront venir les examiner.

CHAPITRE PRÉLIMINAIRE

§ 1.

ÉTENDUE ET IMPORTANCE DU SUJET.

Il me suffira de quelques mots pour rappeler l'importance que présentent les problèmes à la solution desquels je me suis attaché. Les modifications de la pression barométrique jouent un rôle considérable dans les phénomènes naturels ; l'industrie, la médecine en ont tiré parti. L'Académie me permettra de passer très-rapidement en revue les circonstances dans lesquelles la biologie est intéressée à leur étude.

Je ne parlerai pas des modifications légères que présente sans cesse le baromètre ; tout prouve que l'influence qu'on leur accorde généralement est fort exagérée, et qu'il convient d'en attribuer la plus grande part aux modifications simultanées de l'état thermométrique, hygrométrique et électrique de l'air.

Mais les hommes et les animaux qui vivent sur les montagnes élevées sont, par là même, soumis à une pression dont la faiblesse, par rapport à celle des bords de la mer, ne peut être sans action sur leur organisme. Or, des villes importantes sont bâties à des hauteurs qui dépassent 3000 mètres, et les hauts plateaux de l'Anahuac (2000 mètres) nourrissent des millions d'hommes.

D'un autre côté, les voyageurs qui gravissent le flanc des montagnes, les aéronautes emportés dans les régions élevées de l'atmosphère, éprouvent fréquemment des troubles physiologiques de plus en plus graves à mesure qu'ils montent, troubles qui finissent par rendre l'ascension impossible et mettre la vie en danger.

L'augmentation de pression n'a point à agir, dans l'état de nature, sur les animaux aériens. Seuls, les animaux marins sont parfois soumis à des pressions qui peuvent atteindre 400 et 500 atmosphères. Mais l'industrie, qui n'emploie pas l'air dilaté dans des conditions intéressantes pour nous, soumet au contraire très-

fréquemment les ouvriers à de fortes compressions d'air, et cela dans des circonstances différentes : 1° le fonçage des piles de pont, le forage des puits, avec les tubes pleins d'air comprimé ; 2° la pêche des perles, du corail, des éponges et les sauvetages sous-marins, le tout à l'aide de scaphandres.

Enfin, les médecins, qui n'ont pas songé, si l'on excepte M. le docteur Jourdanet, à employer la diminution de pression, ont fait de nombreuses tentatives de thérapeutique avec l'air comprimé. Cette pratique, à laquelle se rattachent en France les noms de Junod, de Pravaz, de Tabarié, se répand beaucoup en Allemagne, et paraît avoir donné, en maintes circonstances, les plus utiles résultats.

J'ajoute, pour en finir avec cette énumération succincte, que les végétaux, comme les animaux, sont, sur les montagnes et à une certaine profondeur sous l'eau, soumis à des pressions barométriques variées. J'ai dû me demander si ces variations ont de l'importance sur la vie végétale ; si, par exemple, dans l'explication de la diversité des flores suivant les hauteurs, il n'y aurait pas, à côté de l'influence universellement reconnue de la température, une part à attribuer à l'altitude elle-même.

Je n'insiste pas davantage ; ces indications suffisent pour montrer que l'étude que j'ai entreprise intéresse à la fois l'histoire naturelle, la médecine, l'hygiène industrielle, l'hygiène des peuples. Avant d'entretenir l'Académie des résultats auxquels elle m'a conduit, avant de donner la raison si simple des phénomènes si divers qui ont été décrits avant moi, ou dont j'ai le premier constaté l'existence, je crois utile d'indiquer rapidement l'état de la science avant mes recherches, et les explications erronées qu'elle avait acceptées ou entre lesquelles elle hésitait.

§ 2

FAITS CONNUS. — EXPLICATIONS ET THÉORIES.

A. — Diminution de pression.

Les faits les plus anciennement connus, ceux qui ont le plus attaché l'attention des observateurs, sont relatifs aux ascensions

sur les montagnes. Tous les voyageurs ont signalé un ensemble d'accidents qu'on a désignés sous le nom de *mal des montagnes*. La Condamine, de Saussure, de Humboldt, Boussingault, Martins, les frères Schlagintweit, les ont éprouvés et décrits.

Tout d'abord la marche devient difficile, les jambes semblent plus lourdes à déplacer; la respiration s'accélère, et, sous la double influence de la fatigue et de l'anhélation, le voyageur est bientôt contraint de s'arrêter. Au repos, il se remet bien vite, et recommence sa marche ascensionnelle. Mais les phénomènes reparaissent et s'aggravent; il s'y joint des battements de cœur, des bourdonnements d'oreille, des vertiges, des nausées. Plus tard, la faiblesse devient telle, que la marche est presque impossible, et il a fallu aux illustres voyageurs dont j'ai cité les noms une grande force morale pour triompher d'un malaise écrasant.

Le repos, qui tout à l'heure faisait tout disparaître, ne suffit plus maintenant, et, même étendu sur le sol, le voyageur est en proie aux nausées, aux palpitations; quelquefois même des hémorrhagies nasales viennent l'effrayer plus encore que l'affaiblir. Il finit par être obligé de s'arrêter et de redescendre.

Cette limite, qui marque le terme des ascensions en montagnes, varie avec les individus, à égalité d'énergie morale; elle varie bien plus encore avec les latitudes ou, pour mieux dire, avec la température du lieu. Sur les sommets du Popocatepetl, les ouvriers indiens vont chercher du soufre à plus de 500 mètres au-dessus de ce dôme du Mont-Blanc, où les voyageurs européens ont tant de peine à soulever le poids de leur propre corps. Mais on peut dire que, dans nos Alpes, les accidents commencent à se manifester vers 3000 mètres de hauteur, alors que le baromètre s'abaisse aux environs de 50 centimètres, c'est-à-dire à peu près au niveau des grandes villes de la Cordillère des Andes.

Si, de cette description succincte, nous passons aux théories imaginées par les voyageurs et par les médecins, nous nous trouvons en présence d'explications, les unes étranges et insoutenables, les autres exactes pour partie, mais auxquelles on a donné une généralité et une importance non justifiées.

Écartons d'abord les premières. Je ne dirai qu'un mot de l'idée de Weber, d'après laquelle la fatigue des voyageurs, avec ses conséquences, serait due à la diminution de la pression atmosphérique, qui ne soutiendrait plus aussi énergiquement, pendant la marche, la tête du fémur accolée à la cavité cotyloïde · déduction d'une théorie que les physiologistes eussent difficilement acceptée, si elle n'avait eu la bonne fortune de nous venir de l'autre côté du Rhin.

Je n'ai pas meilleure opinion d'une théorie qui compte de nombreux sectateurs, d'après laquelle, sous l'influence de la diminution de pression, le corps serait placé en quelque sorte dans une immense ventouse ; celle-ci, appelant à la peau le sang des organes internes, troublerait profondément les conditions de la circulation, ce qui suffirait à expliquer tous les accidents décrits, et en premier lieu les hémorrhagies des muqueuses. Il y a, dans cette explication, un étrange oubli des lois de la physique. Mais j'insisterai sur ce point en parlant de l'augmentation de pression, où cette théorie reparaît sous une forme dangereusement séduisante.

Je ne crois pas qu'il faille parler longuement des voyageurs qui ont attribué les nausées et les vertiges à la fatigue de la vue par l'éclat des neiges éternelles. Ceux qui ont fait entrer en ligne de compte l'influence du froid ont eu, certes, une idée plus heureuse. Cette influence est manifeste, et nous en avons plus haut donné la preuve. Mais on a eu tort de lui attribuer une importance exagérée ; on peut supporter au niveau de la mer, sans éprouver rien qui ressemble au mal des montagnes, une température bien plus basse que celle du sommet du Mont-Blanc en été.

C'est à cet ordre d'idées que se rapporte le récent et remarquable travail de M. Lortet (1). Ce physiologiste, après avoir donné à la constatation et à la mesure des phénomènes observés anciennement l'exactitude qu'exige la physiologie moderne, a tenté d'expliquer ces faits par le refroidissement réel qu'éprouve le voyageur, dont la température s'abaisse, comme il l'a mesuré,

(1) *Deux ascensions au Mont-Blanc* (*Lyon médical*, 1869

de plusieurs degrés. Cet abaissement même, il l'attribue, par une ingénieuse application de la loi de la corrélation des forces, à un emprunt exagéré de calorique, nécessité par la puissance mécanique qu'il faut développer pour élever le poids de son propre corps à de telles hauteurs. Un calcul très-simple donne en effet des résultats dont la coïncidence avec les faits acquis par le thermomètre est de nature à séduire.

Mais il est bien évident que cette transformation ne suffit pas pour abaisser la température propre du corps et pour produire le mal des montagnes, puisque celui-ci ne se manifeste jamais au-dessous de 2000 mètres dans les Alpes, ni au-dessous de 4000 mètres dans la Cordillère des Andes. On n'a jamais constaté d'abaissement de température chez les prisonniers anglais, qui s'élèvent incessamment sur une roue qui tourne sous leurs pas. Sans doute, comme la physique générale le prouve, comme les recherches de M. Hirn l'ont depuis longtemps expérimentalement démontré, la force vive dépensée entraîne une transformation de la chaleur; mais celle-ci est alors produite en plus grande quantité, et la température du corps n'en est nullement impressionnée. Il faut donc, pour donner à l'explication de M. Lortet sa véritable valeur, la réduire à une annexe de l'influence frigorifique, due à la basse température des régions alpines. Dans ce système, l'ascension rapide, en plein hiver, d'une colline un peu élevée, devrait donner le mal des montagnes. Or, rien de pareil n'a jamais été constaté. Ajoutons que, sur les montagnes intertropicales, les accidents apparaissent avec une température ambiante tout à fait supportable.

Plusieurs années auparavant, M. Martins (1), reprenant une ancienne idée de Hallé, avait introduit dans l'explication du froid qu'on éprouve sur les hauteurs un autre élément. Les combustions intra-organiques, disait-il, sont moins actives, parce que, à chaque inspiration d'un air très-dilaté, il entre dans nos poumons une quantité beaucoup moindre d'oxygène qu'au niveau

(1) *Du froid thermométrique et de ses relations avec le froid physiologique* (*Mémoires de l'Académie de Montpellier*, t. IV, 1858-1860).

des mers; l'accélération respiratoire ne saurait être assez grande pour compenser ce qui manque : de là un moindre effet calorifique. Nous verrons dans la suite de ce travail la part de vérité qui revient à cette explication du célèbre professeur de Montpellier.

Ici me paraissent devoir se placer les faits constatés dans les ascensions en ballon. C'est un autre *mal des montagnes*, sauf les sensations de fatigue. Mais pour éprouver les troubles habituels, il faut que l'aéronaute s'élève beaucoup plus haut que le voyageur montagnard. Ce n'est guère qu'au-dessus de 4000 mètres qu'on les a constatés avec une intensité manifeste. Il convient de faire remarquer que l'aéronaute n'a aucune dépense de force à faire, et que l'époque tardive à laquelle il est atteint est en concordance parfaite avec les faits plus haut rappelés touchant les phases d'activité ou de repos pendant les ascensions en montagnes.

Mais, précisément parce qu'il est purement passif, l'expérimentateur que le ballon emporte peut aller beaucoup plus haut, et les accidents qu'il éprouve peuvent acquérir assez d'intensité pour menacer sa vie. C'est ce qui est arrivé à MM. Coxwell et Glaisher, dans leur célèbre ascension du 5 septembre 1862. Tous deux tombèrent sans connaissance au fond de la nacelle : Glaisher vers 8800 mètres (1), à 24c,7 de pression, Coxwell vers 10 000 mètres. La hauteur maximum à laquelle ils atteignirent a été estimée être de 11 000 mètres; ils reprirent leurs sens lorsque la descente les ramena à peu près au même niveau; pendant cet intervalle, un des pigeons qu'ils emportaient avec eux était mort. On peut affirmer que, à moins d'employer la méthode dont je parlerai dans un autre chapitre, aucun homme ne pourra s'élever plus haut que ne l'ont fait ces aéronautes intrépides.

J'arrive à la troisième circonstance, la plus importante, à coup sûr, au point de vue pratique, dans laquelle se manifeste l'influence de la diminution de pression : je veux parler de l'habitation longtemps prolongée, de l'existence régulière à de grandes

(1) C'est la hauteur du Gaourichnaka du Népaul, le plus élevé des pics terrestres.

hauteurs au-dessus du niveau de la mer. Sur les hauts plateaux mexicains, par 2000 à 2500 mètres, vivent des millions d'hommes; sur le *dos des Andes* sont bâties nombre de grandes villes à près de 3000 mètres; dans l'Himalaya, la ville de Daba est située à 4800 mètres, c'est-à-dire à la hauteur du sommet du Mont-Blanc.

Les voyageurs ne paraissent jamais avoir rien observé de spécial aux populations de ces lieux élevés. Sur les plus hauts sommets, ils s'étonnent bien de voir des peuples vigoureux se livrer au travail, à la chasse, à la guerre, par des niveaux où le voyageur des Alpes a peine à gravir lentement (combat de Pichincha en Colombie, par 4600 mètres); mais ils n'en tirent aucune conséquence particulière. Pour les régions inférieures, en Suisse par exemple, on a signalé de tout temps la vigueur des montagnards, et l'on a vanté l'influence salutaire de l'air pur des montagnes.

Mais l'analyse scientifique n'a abordé que depuis peu de temps ce problème important pour l'hygiène, la médecine et même l'histoire. L'un des premiers, le docteur Lombard (de Genève) fut amené à considérer comme différentes dans leurs influences sur les maladies les altitudes diverses. La classification qu'il a établie, les observations qui en sont la base, prêtent fort à la discussion, et sont encore l'objet de polémiques actives; ce ne serait pas, je pense, ici le lieu d'en parler : elles sont, du reste, d'ordre étroitement médical.

Les observations faites au Mexique par le docteur Jourdanet (1) ont une importance et une valeur infiniment supérieures. Ce médecin, qui a longtemps exercé son art successivement dans les terres chaudes et sur les hauts plateaux, a signalé, dans la fréquence et la marche de maintes maladies, des caractères dont il attribue la cause à la diminution de pression. Puis, s'attachant, avec une remarquable sagacité, à l'observation non-seulement des malades, mais des hommes sains, il en est arrivé à constater chez ceux-ci des phénomènes qui relèvent de cette même in-

(1) *Les altitudes de l'Amérique tropicale*, Paris, 1861.

fluence, laquelle domine ainsi et la constitution médicale, et l'état physiologique de ces populations.

On comprendra que je ne saurais entrer ici dans aucun détail; pas davantage ne voudrais-je analyser la polémique, parfois acerbe, qui fut à ce propos dirigée contre M. Jourdanet. Ce qui m'importe bien autrement ici, c'est de rappeler l'explication que ce médecin physiologiste a cru pouvoir donner du mode d'action de l'abaissement barométrique.

M. Jourdanet part de ce fait, qu'il regarde comme établi par lui, que les habitants des hauts plateaux, se comportent, à l'état de santé ou de maladie, comme des anémiques. Il fait d'abord, à ce propos, le même raisonnement que M. Martins sur le moindre poids d'oxygène fourni au sang dans un temps donné par la respiration d'un air peu dense. Il considère de plus que, dans l'air dilaté des hauteurs, l'oxygène doit, suivant un rapport qui ne serait pas sans analogie avec la loi de Dalton sur les dissolutions, s'introduire dans le sang, à la traversée des poumons, en moindre quantité, et il en conclut que les métamorphoses chimiques intra-organiques, s'opérant en présence et sous la sollicitation d'un sang moins oxygéné, doivent être modifiées en quantité, en qualité peut-être. A côté de l'anémie, bien connue, due à la diminution du nombre des globules sanguins, de la quantité de l'hémoglobine, véhicule de l'oxygène, il place une anémie nouvelle, due à la moindre richesse de cette combinaison de l'hémoglobine avec l'oxygène, et l'appelle *anoxyhémie*.

Je laisse tous les détails pour m'appesantir sur cette hypothèse féconde; c'est la première fois qu'une explication vraiment scientifique, et touchant à la racine même des choses, était formulée. L'anoxyhémie faible, mais continue, de l'habitant des hauts plateaux, agit lentement sur sa constitution; mais l'anoxyhémie brusque, intense, du voyageur qui gravit les sommets élevés, détermine des phénomènes soudains : le mal des montagnes est une anoxyhémie aiguë et violente.

Ces idées de M. Jourdanet furent vivement combattues par certains médecins du corps expéditionnaire que la France, sur ces entrefaites, envoyait au Mexique. On ne se contenta pas

d'élever des doutes sur l'exactitude des observations fondamentales de M. Jourdanet; on repoussa son explication, en s'appuyant sur des raisons dont une seule présente une valeur scientifique et mérite qu'on s'y arrête.

En 1857, dans un travail justement remarqué, M. Fernet, reprenant sous une nouvelle forme les mémorables expériences de M. Dumas sur l'absorption de l'oxygène par les globules sanguins, avait démontré que l'oxygène se trouve dans le sang, pour la plus grande part, à l'état non de simple dissolution, mais de combinaison chimique. Et il avait tiré cette conclusion d'expériences fort délicates, par lesquelles il s'efforçait précisément de chercher si la loi de Dalton peut s'appliquer à l'absorption de l'oxygène par le sang sous diverses pressions barométriques. Ses conclusions se résument ainsi : L'oxygène existe dans le sang sous deux formes : une partie, dissoute dans le sérum, varie avec la pression barométrique ; le reste, chimiquement uni à l'hémoglobine, demeure constant, que la pression augmente ou diminue.

On ne pouvait manquer d'opposer ces conclusions aux idées de M. Jourdanet. Celui-ci fit observer cependant que les variations de pression employées par M. Fernet étaient très-faibles ; que des différences insignifiantes, insaisissables, pour le chimiste qui opère sur une petite quantité de sang, peuvent prendre une grande importance physiologique ; que, en somme, les expériences de Magnus avaient montré qu'à une pression très-basse il est vrai, l'oxygène sort du sang, et que quelque chose d'analogue devait se produire à des dépressions moindres ; enfin, car 'abrége beaucoup, il tenta une démonstration directe.

Du sang de Lapin, à Mexico, agité avec de l'oxyde de carbone, suivant la méthode de M. Cl. Bernard, lui donna, à plusieurs reprises, des quantités d'oxygène moindres que celles qu'on trouve normalement dans nos contrées. Il persista donc dans ses opinions, et les développa avec un remarquable talent dans son livre *le Mexique et l'Amérique tropicale*, publié en 1864. Je dois avouer qu'aucun physiologiste, aucun physicien, aucun médecin ne se rangea à son avis. M. Longet, M. Gavarret, M. Coindet, M. Leroy de Méricourt, s'élevèrent contre lui. « Si l'on admettait

» cette doctrine, dit M. Longet (1), il faudrait arriver à cette » conséquence que le sang des habitants des régions où la pres- » sion n'est plus guère que de 0m,38 renfermerait moitié moins » d'oxygène que le sang des habitants des bords de la mer. »

Je fus le premier (2) à me déclarer partisan, par *à priori*, de cette hypothèse, quitte à la soumettre au contrôle souverain de l'expérience. J'espère montrer plus loin que l'expérience a entièrement confirmé le fait de l'anoxyhémie des voyageurs en montagnes et des aéronautes.

Si M. Jourdanet est le premier, je dirai même le seul auteur qui ait fait jouer, dans l'explication des accidents dus à la diminution de pression, le rôle prédominant à l'oxygène du sang (3), d'autres ont, avant et après lui, attaché de l'importance aux proportions variables de l'acide carbonique contenu dans ce liquide.

Je me contenterai de mettre en face l'une de l'autre l'opinion de M. Jourdanet, et celle plus récente du professeur Gavarret. Pour M. Jourdanet, la diminution dans la proportion de l'acide carbonique contenu dans le sang, conséquence nécessaire, selon lui, de la décompression, constituerait une circonstance favorable à la santé, par laquelle se pourrait expliquer l'influence bienfaisante du séjour sur les hauteurs médiocres. Ici, selon ce médecin, la dépression ne serait pas suffisante pour diminuer l'oxygénation, mais elle serait parfaitement capable de décarboniquer partiellement le sang, avantage qu'il considère comme important.

M. Gavarret, tout au contraire, n'a pas hésité à attribuer à un excès d'acide carbonique dans le sang les accidents du mal des montagnes. Le passage dans lequel M. Gavarret expose son opinion me paraît mériter d'être cité en entier. L'autorité dont jouit, à si juste titre, le savant professeur, fait qu'on pourra prendre ses paroles comme une mesure exacte de l'état de nos

(1) *Traité de physiologie*, 2e édit., t. I, p. 493.

(2) *Leçon sur la physiologie de la respiration*, 1870, p. 422.

(3) Pravaz avait aperçu cette vérité, mais sans y insister suffisamment, et en la mêlant à plusieurs erreurs.

connaissances sur ce sujet, au moment où j'ai commencé mes recherches. Je transcris textuellement la note insérée dans l'article ALTITUDE du *Grand Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*, publié en 1866 :

« Lorsqu'il monte, *à pied*, sur une haute montagne, l'homme accomplit une quantité de travail mécanique qui varie avec le poids de son corps, la hauteur d'ascension, la nature et la disposition du terrain sur lequel il marche. A la force mécanique qu'il dépense ainsi correspond une consommation d'une quantité déterminée des matériaux organiques de son sang, dont la combustion ne produit aucun effet thermique. Indépendamment de la quantité de chaleur nécessaire au maintien de sa température propre, les combustions respiratoires doivent donc fournir l'*équivalent calorifique* de la force mécanique dépensée pendant l'ascension. Pour bien saisir les conséquences de cet accroissement forcé de l'activité respiratoire, fixons notre attention sur un exemple déterminé.

» Un homme adulte, bien constitué, du poids de 75 kilogrammes, s'est élevé, *à pied*, à 2000 mètres de hauteur sur les flancs d'une montagne. Il a effectué ainsi un travail *utile* de 150 000 kilogrammètres, représentant 353 unités de chaleur, dont l'effet thermique est *nul*, *transformées tout entières* en force mécanique, et fournies par les combustions respiratoires. Les *huit dixièmes* de cette chaleur *transformée* provenant de la combustion du carbone, la création de la force mécanique correspondant au travail *utile* accompli pendant l'ascension nécessite la production de 65 litres d'acide carbonique, en sus des 22 litres de ce gaz que l'homme forme, par heure, dans ses capillaires généraux pour maintenir sa température propre. Les conséquences de la production d'une aussi grande quantité d'acide carbonique dans l'économie se présentent d'elles-mêmes. La consommation des matériaux organiques du sang est excessive, et les forces s'épuisent très-rapidement. Les mouvements respiratoires et circulatoires s'accélèrent considérablement, d'une part pour rendre possible l'absorption de tout l'oxygène nécessaire à des combustions si actives; d'autre part pour débarrasser le sang d'une telle

proportion d'acide carbonique dissous. Lorsque la marche est lente, la force dépensée, dans un temps donné, est faible, et les troubles fonctionnels ne sont pas considérables.

» Mais si l'ascension s'opère rapidement, l'exhalation gazeuse, bien que très-activée, n'est plus suffisante pour maintenir la composition normale du sang qui reste sursaturé d'acide carbonique : alors la respiration devient anxieuse ; la dyspnée devient extrême, et s'accompagne de céphalalgie, de vertiges et de somnolence. On comprend encore facilement pourquoi une halte de quelques instants suffit pour faire disparaître tous ces accidents. . . . .

. . . .

» Comme conséquence de ces considérations, nous nous croyons autorisé à dire que la majeure partie des troubles fonctionnels caractéristiques du *mal des montagnes* doit être rapportée à une véritable intoxication par l'acide carbonique dissous en trop forte proportion dans le sang. Pour dire ici toute notre pensée, nous ajouterons qu'une intoxication de même nature, résultat nécessaire d'une dépense de force excessive, est une des principales causes des accidents graves observés chez les *animaux surmenés*. »

Je me borne à la reproduction de ce passage, sans discuter les victorieuses objections d'*à priori* que soulève cette théorie, laquelle, du reste, laisse entièrement de côté le *mal des aérostats*. Je montrerai par des expériences directes, *à posteriori*, que la quantité d'acide carbonique contenu dans le sang diminue toujours quand diminue la pression barométrique.

B. — Augmentation de pression.

Dans l'état de nature, ainsi que je l'ai fait remarquer au début de cette étude, les animaux marins sont seuls soumis à l'influence de pressions barométriques considérables ; mais celles-ci peuvent être énormes. Des Poissons ont été pêchés par 600 et 800 mètres ; des Mollusques adhéraient au câble méditerranéen immergé par 1200 mètres (Alph. Milne Edwards) ; au fond des *eaux bleues* du Kamtchatka, par 3000, 4000, 5000 mètres, la sonde a rapporté

des animaux inférieurs vivants, et surtout le curieux *Bathybius*, habitant ordinaire des grandes profondeurs.

La résistance de ces êtres, parfois si délicats de structure, à des pressions de 400 et 500 atmosphères, a étonné certains naturalistes. Un peu de réflexion suffit à montrer que les tissus semi-fluides, incompressibles au même titre que l'eau, n'ont rien à craindre de ces pressions équilibrées. M. Cailletet a vu, dans ses expériences sur la piézométrie, des Anguilles *de la montée* subir, sans périr, des pressions de 1200 atmosphères ; cependant, sous ces pressions énormes, le corps étant comprimé, diminuant de volume, les canaux sanguins se rétrécissaient, et la circulation était compromise. Rien de pareil n'est à craindre chez les animaux qui vivent régulièrement dans les profondeurs des mers.

Lorsque les animaux marins possèdent des réservoirs gazeux, comme la *vessie natatoire* de certains Poissons, la décompression, dilatant soudain la vessie, amène des accidents bien connus des pêcheurs. Mais, hors ce cas particulier, il n'y a rien à dire sur l'influence mécanique de ces phénomènes ; nous verrons plus tard ce qu'il en faut penser au point de vue chimique.

J'ai hâte d'arriver au point le plus intéressant, je veux dire aux applications industrielles de l'air comprimé, et aux phénomènes présentés par les ouvriers qui y sont exposés. Je parlerai d'abord du forage des puits, du fonçage des piles de pont dans des tubes métalliques, où des machines poussent de l'air comprimé qui, s'échappant par en bas, chasse l'eau, et permet aux ouvriers de travailler sur un sol asséché.

Depuis l'invention qu'en fit M. Triger, cette méthode a été souvent employée dans les mines de Maine-et-Loire, de Douchy, etc., aux ponts de Kehl, d'Argenteuil, de Bayonne, etc., aux ports de Brest, de Bordeaux, etc. Les pressions employées se sont élevées jusqu'à près de 5 atmosphères. Or, toutes les foi qu'elles ont dépassé 3 atmosphères, certains ouvriers ont présenté des accidents plus ou moins graves. Les médecins ont naturellement observé avec beaucoup de soin ces phénomènes. Voici les principaux parmi ceux qu'ils ont constatés.

Au moment de la compression et à celui de la décompres-

sion (actes qui se passent toujours avec une imprudente rapidité), surviennent des douleurs d'oreilles, dues à des tensions inégales sur les deux faces de la membrane du tympan. La compression obtenue, les ouvriers travaillent dans les tubes sans rien éprouver : comme le disaient Pol et Vatelle, on ne paye qu'en sortant. C'est alors, en effet, que surviennent fréquemment des démangeaisons violentes à la peau, des *puces*, comme les appellent les ouvriers, ou encore des douleurs musculaires avec gonflement, des *moutons*. Ce n'est pas tout, on constate parfois des vertiges, voire même des paralysies. Enfin, on a signalé des cas de morts plus ou moins subites. Au sortir des tubes de Bayonne, M. C..., ingénieur, est frappé de perte de connaissance, avec paralysie complète; il se remet partiellement, et traîne encore aujourd'hui, après dix ans, une paraplégie incurable. A Kehl, à Douchy, des ouvriers sont tombés morts, comme foudroyés.

Pour tous les médecins qui se sont occupés de la question, ces phénomènes sont dus à des congestions ou à des apoplexies. Selon la plupart d'entre eux, la compression, agissant à la fois sur la peau et la muqueuse pulmonaire, tendrait à chasser le sang dans les organes profonds; la décompression brusque ferait un effet inverse, et, dans ce double choc, les vaisseaux du cerveau ou de la moelle épinière céderaient. C'est, dans une situation inverse, l'explication à laquelle j'ai fait allusion plus haut à propos du mal des montagnes. Or, elle est absolument contraire aux lois de la physique; la pression dans une matière semi-fluide, comme l'est le corps humain, se transmet instantanément dans tous les sens et à toutes les profondeurs. En vain objecterait-on que le crâne empêcherait la pression d'agir sur la masse du cerveau, dont les vaisseaux sanguins seraient alors tendus outre mesure : cela n'est pas exact, le cerveau étant en communication avec le corps par d'autres tissus que les vaisseaux sanguins. Je n'insiste pas davantage, et veux seulement faire observer que les accidents n'arrivent *jamais* au moment de la compression, mais seulement lors du retour à l'air extérieur.

M. Bouchard (1), qui croit aussi aux hémorrhagies, les a expliquées par un autre mécanisme, lequel, s'il n'est pas exact, est du moins parfaitement acceptable au point de vue physique. Enfin, M. le professeur Rameaux (de Strasbourg) (2) a émis une théorie d'un tout autre ordre; je reviendrai sur ces faits pour démontrer expérimentalement l'exactitude de la théorie du professeur Rameaux.

Ces accidents brusques ne sont pas les seuls qui atteignent les ouvriers des tubes. Ceux qui ont travaillé pendant un certain temps dans l'air comprimé, à 3 ou 4 atmosphères, prennent un aspect particulier, sont atteints d'une sorte de cachexie. Leur peau ternit, leurs digestions deviennent difficiles, des troubles circulatoires et nerveux les poursuivent; leurs forces diminuent. Chose curieuse! au début de cet état maladif, tout s'améliore lorsque l'ouvrier rentre dans les tubes et se comprime à nouveau; mais le malaise est aggravé lors du retour à la pression normale. Tout cela peut entraîner des maladies graves, quelquefois même la mort.

Il n'y a pas que les accidents pathologiques causés par l'action prolongée de l'air comprimé qui soient améliorés par lui. Les ouvriers ont remarqué que certaines inflammations des muqueuses, que les coryzas par exemple, étaient, au début, enrayés, jugulés, peut-on dire, par un séjour dans les tubes. A Argenteuil comme à Strasbourg, ces observations ont été confirmées et régularisées par les médecins; mais il faut dire qu'ils ont été bien mal inspirés en attribuant cet arrêt de la congestion à une compression, un écrasement de la muqueuse contre les plans solides sous-jacents. Cette erreur physique domine leurs écrits : pâleur de la peau, congestions internes, accidents abdominaux et nerveux attribués à celles-ci, modifications circulatoires, ils expliquent tout cela par ce refoulement des liquides de la périphérie vers le centre; et c'est dans ces alternatives de déplacement sanguin de la peau vers les profondeurs, puis de celles-ci vers la peau, qu'ils trouvent

(1) *Pathogénie des hémorrhagies*. Paris, 1869.

(2) Cité dans la thèse de Bucquoy. Strasbourg, 1861, p. 59.

la raison des phénomènes morbides constatés. Ils confondent ainsi, dans une même explication qui pèche par la base, les troubles à longue portée qui atteignent les anciens ouvriers, et les accidents subits qui frappent l'ouvrier, parfois à sa première séance, au moment de la décompression. Nous verrons qu'il convient de distinguer absolument ces deux circonstances.

Je dois faire observer ici que beaucoup de médecins avaient été frappés d'un phénomène remarquable : sous l'influence d'une forte pression, le sang des veines change de couleur et rougit. Les auteurs (Pol et Vatelle, Pravaz, Bucquoy, Foley, Vivenot, etc.) n'hésitent pas à en conclure qu'il s'est chargé d'une plus grande quantité d'oxygène, et que l'hématose exagérée doit avoir pour conséquence des oxydations intra-organiques plus actives. De là, selon eux, le sentiment de bien-être de l'ouvrier qui travaille dans les tubes ; de là son malaise, lorsque l'air extérieur ne fournit plus aux tissus la dose d'oxygène accoutumée, le besoin de la compression nouvelle, etc... Mais c'est à grand tort qu'ils ont tous mêlé cette vue simple et supérieure de la suroxydation du sang à des déductions purement théoriques et, comme nous le verrons, tout à fait erronées, sur la suroxydation des tissus et la suractivité vitale, et qu'ils la compromettent en l'associant à la malheureuse doctrine de l'écrasement mécanique par la compression de la peau, et de la congestion des organes internes. Il n'est pas inutile non plus de remarquer que certains auteurs, qui ont écrit postérieurement au travail de Fernet, ont cru devoir soumettre à une critique particulière cette question de la suroxydation du sang. Bucquoy, considérant la combinaison de l'oxygène avec ses globules comme fixe et invariable, fait jouer un rôle prédominant à l'oxygène dissous dans le sérum.

Je dirai peu de chose des applications thérapeutiques de l'air comprimé, bien que je leur attribue une très-grande importance pratique ; mais les médecins qui les ont employées n'en ont pas tiré un bien utile parti au point de vue physiologique. Leur sphère d'action, très-différente de celle des médecins des tubes, ne dépasse pas 2 atmosphères. A Paris, M. Leval-Picquechef, qui dis-

pose d'une partie des anciens appareils de Tabarié, n'emploie guère qu'une compression de 10 à 20 centimètres.

Les effets remarquables obtenus sous ces faibles pressions dans les bronchites chroniques, l'asthme, l'emphysème pulmonaire, et surtout les anémies et les hémorrhagies passives, auraient bien dû éloigner les médecins de leur première erreur sur l'action de compression. Il n'en est rien cependant, et en Allemagne comme en France, c'est toujours l'écrasement des muqueuses, la dilatation du poumon par l'air comprimé, qui servent de thème commun pour l'explication. Cela est particulièrement curieux en Allemagne, où des physiologistes de profession ont étudié ces questions avec tout le luxe d'outillage et de calcul précis dont on fait là-bas un véritable abus. Rien de singulier comme de voir déployer toutes les ressources de la physique la plus délicate pour tirer les conséquences d'une théorie qui ne peut soutenir l'examen physique le plus élémentaire.

Il faut avouer cependant qu'un fait fort remarquable était bien de nature à les fixer dans leur erreur. Lorsqu'un emphysémateux se soumet à l'action de l'air comprimé, il voit très-rapidement sa capacité respiratoire augmenter dans une proportion extraordinaire, de plus d'un tiers parfois. Il semble que le poumon se dilate comme si l'on y insufflait réellement de l'air comprimé, et les auteurs n'ont pas hésité à admettre cette interprétation, oubliant que le même air comprimé entoure extérieurement le corps, et transmet aux capillaires pulmonaires, au tissu du poumon, son excès de pression. Ajoutons que cette amélioration si capitale persiste, après que le malade est sorti des appareils, et peut durer pendant des semaines, des mois, quand le traitement a été suffisamment prolongé, au grand bénéfice de l'asthmatique, pendant tout ce temps soulagé.

Il me reste, avant de finir ce rapide historique, à parler des pêcheurs, des plongeurs à scaphandre. Je ne dirai rien des plongeurs *à cru*, sur lesquels je n'ai fait aucune expérience : c'est de ceux-ci qu'il est permis de dire qu'ils sont écrasés par la pression, qui tend à resserrer leur thorax plein d'air ; les troubles cir-

culatoires, les hémorrhagies qu'ils éprouvent, trouvent dans cette action mécanique une facile explication.

Les plongeurs à scaphandre sont dans des conditions tout à fait semblables, quant au point de vue qui nous occupe, aux ouvriers des tubes. L'air qu'ils respirent est exactement à la pression que mesure la colonne d'eau qui les surmonte : du moins lorsqu'ils emploient le régulateur Denayrouze, qui assure, avec une remarquable exactitude, cette égalité de pression. Aussi, les accidents qu'ils éprouvent sont-ils du même ordre ; seulement, comme ils se risquent à aller jusqu'à 50 et 60 mètres de profondeur, et comme ils se décompriment au moins aussi vite que les ouvriers des tubes, ils courent des dangers bien plus graves. Les paraplégies, s'étendant aux organes du bas-ventre, sont très-communes, et très-souvent elles se terminent par la mort ; celle-ci survient même presque instantanément dans beaucoup de cas. Suivant M. Leroy de Méricourt, une seule compagnie anglaise, sur 24 plongeurs, en a perdu 10, dont 3 sont morts subitement, les 7 autres après plusieurs mois de paralysie. On n'a pas manqué d'invoquer ici encore les prétendus chocs dus à la décompression, les refoulements centripètes dus à la compression, et d'attribuer ces accidents à des congestions ou à des hémorrhagies de la moelle, du cerveau, d'autres organes. Nous verrons que le mécanisme anatomique imaginé n'est pas plus exact que la cause invoquée n'est acceptable en physique.

CHAPITRE PREMIER

DE LA MORT DES ANIMAUX MAINTENUS EN VASES CLOS SOUS DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES.

Je crois inutile de donner les motifs pour lesquels j'ai attaqué le problème par la voie indirecte qu'indique le titre du présent chapitre ; mais je dois compléter ce titre en disant qu'il s'agit ici de la composition de l'air devenu mortel pour l'animal qui y a séjourné. C'est par les résultats que m'a fournis cette méthode

que je commence l'exposé de mes recherches, pour cette raison que l'explication fondamentale des influences des pressions barométriques diverses ressort des réflexions qu'ils suggèrent. Or, c'est l'explication des phénomènes, bien plus que leur description minutieuse, qui constitue la science et importe à l'expérimentateur. Aussi rejetterai-je à la fin de cette étude la description des troubles consécutifs à l'abaissement ou à l'augmentation de pression : cherchons d'abord, sachant qu'ils existent, à quoi ils sont dus.

Les résultats auxquels je suis arrivé sont d'une simplicité telle, qu'on pourrait les énoncer presque en une phrase. Il convient cependant de donner quelques développements.

§ 1.

De la diminution de pression.

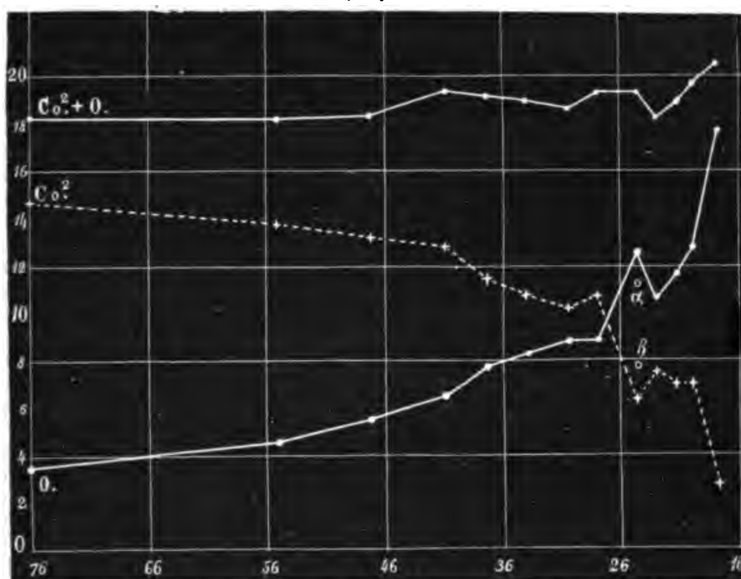
Les animaux (nécessairement d'assez petite taille) étaient placés sous des cloches de verre adhérentes à des plaques de machine pneumatique. Tous les raccords étaient noyés dans l'eau, de manière à obtenir une fermeture exacte. On faisait graduellement le vide, sous courant d'air, jusqu'au point voulu, pour fermer ensuite les robinets. Une pompe à mercure servait à extraire les gaz destinés à l'analyse. J'avais disposé un système d'appareils qui me permettait de faire jusqu'à quatre expériences simultanées et comparatives. Ce n'est pas ici le lieu d'insister sur ces détails descriptifs.

Les animaux sur lesquels j'ai fait le plus grand nombre d'expériences sont les Moineaux. Je ne parlerai pas des phénomènes qu'ils présentaient : les uns appartiennent à la diminution de pression elle-même, ils seront décrits dans un autre chapitre du présent mémoire ; les autres sont l'effet du confinement, et leur analyse trouvera également place ailleurs. Je me bornerai à donner ici, sous forme de tableau, un résumé des résultats fournis par mes expériences, au point de vue de la composition de l'air où le Moineau périssait après un certain temps.

J'appelle d'abord l'attention sur les colonnes 7 et 8 du tableau I (p. 22), qui indiquent la composition de l'air devenu mortel à la

suite du confinement. Les résultats en sont plus faciles à saisir, étant mis sous la forme graphique, comme dans le tracé ci-dessous : les pressions en centimètres de mercure sont portées sur l'axe des abscisses, les quantités d'oxygène et d'acide carbonique

Graphique I.



sur celui des ordonnées. Les points inscrits sur le tracé correspondent aux moyennes marquées par des accolades dans les colonnes 7 et 8 du tableau I.

On voit du premier coup d'œil que la proportion d'oxygène contenu dans l'air devenu mortel va en augmentant, à mesure que diminue la pression barométrique ; en d'autres termes, que l'animal épuise de moins en moins l'air dans lequel il est confiné. Le tracé montre cependant une sorte d'irrégularité aux environs de 25 centimètres; mais, sans m'appesantir ici plus que de raison sur l'explication de ce point de rebroussement, je ferai remarquer qu'une moyenne plus étendue donne comme résultat le point α, qui rend au graphique sa marche régulièrement ascendante. Nous verrons tout à l'heure que cette courbe, si l'on fait abstraction des petites irrégularités qui dépendent fata-

lement des erreurs d'expérience, répond à une définition géométrique exacte, et n'est autre chose qu'une *branche d'hyperbole*.

TABLEAU I.

1. Numéros.	2. Température extérieure.	3. Pression barométrique.	4. Capacité de la cloche.	5. Durée de la vie.	6. Durée de la vie par litre d'air rapporté à 76 c. de pression.	7. Composition de l'air mortel. O.		8. CO^2.		9. $\frac{O \times P}{76}$
	o	c	lit.	h. m.	h. m.					
1.	15	76	1	1 5	1 5	3		14,8		3,0
2.	15	76	1,9	1 55	57	4,2	3,5	14,6		4,2
3.	16	75	2,5	3 23	1 20	3,5		14,6	14,7	3,5
4.	24	75	1,3	3 45	* 2 50	3,3		16,0		3,3
5.	16	55	3,2	4 31	1 57	4,5	4	14,4	13,9	3,2
6.	22	55	2,5	1 40	1 3	4,6		13,4		3,3
7.	21	48,5	1,5	1 25	1 32	5,2	5,3	14,1	13,2	3,3
8.	22	47	3,2	1 53	57	5,5		12,4		3,4
9.	21	41,3	1,9	1 45	1 45	6,5		12,9		3,5
10.	»	38	3,2	1 30	56	8,2	7,7	11,6	11,5	4,1
11.	17	37	25	1 45	1 27	7,2		11,5		3,5
12.	16	34,3	4,6	2 34	1 21	8,2		10,8		3,7
13.	20	30,8	11,5	6 53	1 28	8,3		9,8		3,4
14.	20	30,5	2,5	1 31	1 31	10,0		10,4		4,0
15.	20	30,3	5	2	»	»	8,7	»	10,1	»
16.	20	30,3	5	»	»	8,3		10,3		3,3
17.	20	30,3	7	1 25	1 34	8,2		10,1		3,2
18.	18	29	3,2	»	»	9,3		11,2		3,5
19.	17	28,3	3,2	1 30	1 15	7,9	8,6	10,3	10,8	3,0
20.	19	27,8	3,2	2	1 14	8,5		10,9		3,1
21.	20	26,1	5	6	»	»		»		»
22.	22	25	2,8	1 2	1 7	11,3		8,1		3,6
23.	16	24,5	3,2	38	* 38	12,8		6,2		4,1
24.	20	24,2	11,5	5	1 22	13,7	12,4	5,4	6,7	4,3
25.	20	24,2	7	2 10	58	12,6		7,0		4,0
26.	20	24,2	5	1 50	1 10	11,6		7,8		3,6
27.	20	24,2	2,5	1 4	1 21	12,6		5,9		4,0
28.	15	23	5	1 35	1 8	10,3	10,7	7,5	7,5	3,1
29.	22	23	3,2	»	»	11,2		7,6		3,4
30.	17	21,5	4,6	1 40	1 17	11,8		7,0		3,3
31.	19	20,8	4,6	2	»	»		»		»
32.	19	20	2,2	2	»	»		»		»
33.	19	19,7	5	1 45	1 20	12,9		7,0		3,3
34.	21	18	11,5	1 4	* 23	17,7		2,8		4,2
35.	21	17,5	11,5	3	»	»		»		»
36.	16	17,4	11,5	11	»	19,6		0,6		4,5
					Moyenne, en écartant ceux marqués d'un astérisque : 1h.16m.					Moyenne 3,5
Moyenne de plusieurs expériences entre + 6° et — 5° de 52c à 29c de pression					57	....				4,5

Le graphique qui exprime les proportions d'acide carbonique marche en sens exactement inverse, avec quelques irrégularités du même ordre et peu intéressantes.

En définitive, la mort, aux très-faibles pressions (je n'ai pu chez les Moineaux dépasser 17 centimètres, et encore me fallait-il, pour obtenir ce résultat, de très-grandes précautions), arrive, en vases clos, dans un air de moins en moins altéré, et vers la fin dans un air presque pur. Il ressort immédiatement de ceci qu'il convient d'exonérer complétement de toute influence sérieuse sur le résultat final l'acide carbonique, dont la proportion finit par devenir insignifiante. Au reste, des expériences dans lesquelles l'acide était absorbé par de la potasse, au fur et à mesure de sa formation, sans que la composition centésimale en oxygène fût modifiée, prouvent bien qu'il n'est pour rien dans la mort. Les observations que je vais faire relativement à l'oxygène donnent encore plus de force à cette conclusion.

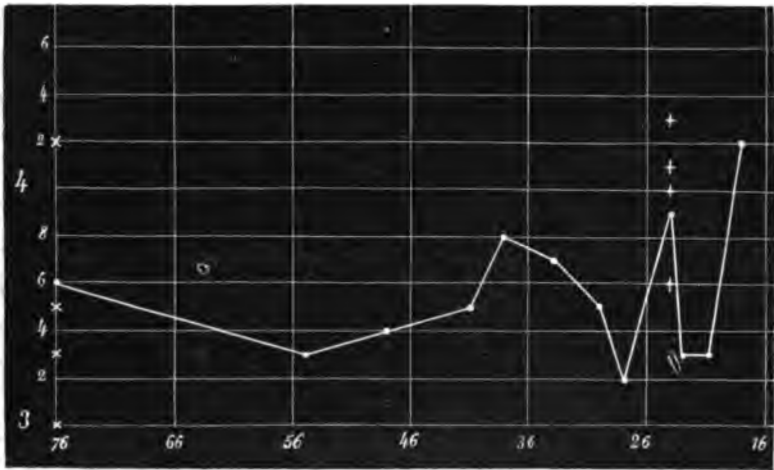
Considérons maintenant d'un peu près cette proportion croissante de l'oxygène restant. Il paraît, à première vue, difficile de faire intervenir dans l'explication de la mort des animaux la privation d'oxygène, alors que l'air en contient encore 12, 15 et 17 pour 100. Mais si, au lieu de nous arrêter à la proportion, nous examinons la tension, nous arrivons à un résultat très-remarquable. La tension d'un gaz dans un mélange gazeux, à des pressions barométriques variables, est évidemment exprimée par le produit de la proportion centésimale que multiplie la pression. Si nous prenons comme unité la pression normale de 76 centimètres, la tension de l'oxygène, dans l'air devenu mortel à cette pression normale, est, d'après notre tableau, en moyenne, $3{,}5 \times P = 3{,}5 \times \frac{76}{76} = 3{,}5$; à 55 centimètres de pression, elle sera $4{,}5 \times \frac{55}{76} = 3{,}3$; etc.

Ces calculs effectués nous donnent les nombres contenus dans la colonne 9 du tableau. On voit qu'ils oscillent entre 3 et 4,3 : les différences n'ayant aucun rapport avec la valeur de la pres-

sion. C'est ce qu'il est aisé de voir à l'inspection du graphique II, qui exprime les moyennes des résultats de cette colonne 9.

A une même pression, comme le montrent les petites croix (les points exprimant les moyennes), on a des écarts aussi grands

Graphique II.



que ceux du tracé tout entier. Ce sont là de ces différences que présentent toujours des expériences faites dans des conditions en apparence identiques, et qui montrent, entre autres choses, combien serait illusoire la précision des décimales.

En résumé, je puis dire, en m'autorisant des faits ci-dessus énoncés, que, *dans l'air confiné, à la pression d'une atmosphère et aux pressions moindres, la mort des Moineaux arrive lorsque la tension de l'oxygène est représentée par un chiffre qui varie de* 3 *à* 4.

Si nous nous reportons à la colonne 7 du tableau, et au graphique pour l'oxygène, de la page 21, nous voyons que chacun des points peut être donné par une équation de la forme $xy = k$. Par exemple, pour le point qui correspond à 41 centimètres de pression, l'équation sera $\frac{41}{76} \times 6,5 = 3,5$. Il est facile de voir que cette courbe est, ainsi que je l'ai dit plus haut, une branche d'hyperbole équilatère ayant pour asymptotes l'axe des x et une

parallèle à l'axe des y s'élevant du point où serait placé sur l'axe des x le zéro des pressions.

Ceci nous permet de déterminer la limite inférieure de pression qu'il ne sera pas possible de dépasser sans faire périr les Moineaux. La pression de l'oxygène dans l'air étant représentée, à une atmosphère, par 20,9, le minimum de pression ressortira de l'équation $\frac{x}{76} \times 20{,}9 = 3$, d'où $x = 10^{c}{,}9$; il sera évidemment très-rare de pouvoir arriver à cette pression, le chiffre 3 étant un minimum exceptionnel. Le second chiffre obtenu 4,2 donnerait pour x la valeur 15,6. Mais on ne saurait espérer atteindre même 12 ou 15 centimètres dans des expériences rapides, brutales en quelque sorte. Il serait nécessaire d'habituer lentement l'animal à la pression diminuée, de le refroidir, comme il advient dans la mort en vases clos, surtout sous les basses pressions, pour lui permettre de supporter d'aussi énormes privations d'air. J'ai pu, en prenant les précautions suffisantes, voir un Moineau survivre à une dépression, qui a varié pendant une demi-heure de 17 à 15 centimètres, avec de brusques oscillations tombant à 10 centimètres, pour se relever aussitôt; sa température s'était notablement abaissée.

D'autres remarques moins intéressantes, il est vrai, ressortent du tableau ci-dessus transcrit. Tout d'abord la dernière ligne montre que, lorsque la température est très-basse, l'épuisement d'oxygène est moins avancé au moment de la mort qu'aux températures moyennes. La moyenne, en effet, de la colonne 9 passe de 3,5 à 4,5. En outre, la moyenne de la durée de la vie, dans les conditions spécifiées par la colonne 6, diminue, et tombe de 76 minutes à 57. Des faits analogues ont été déjà signalés dans l'asphyxie en vases clos à la pression normale.

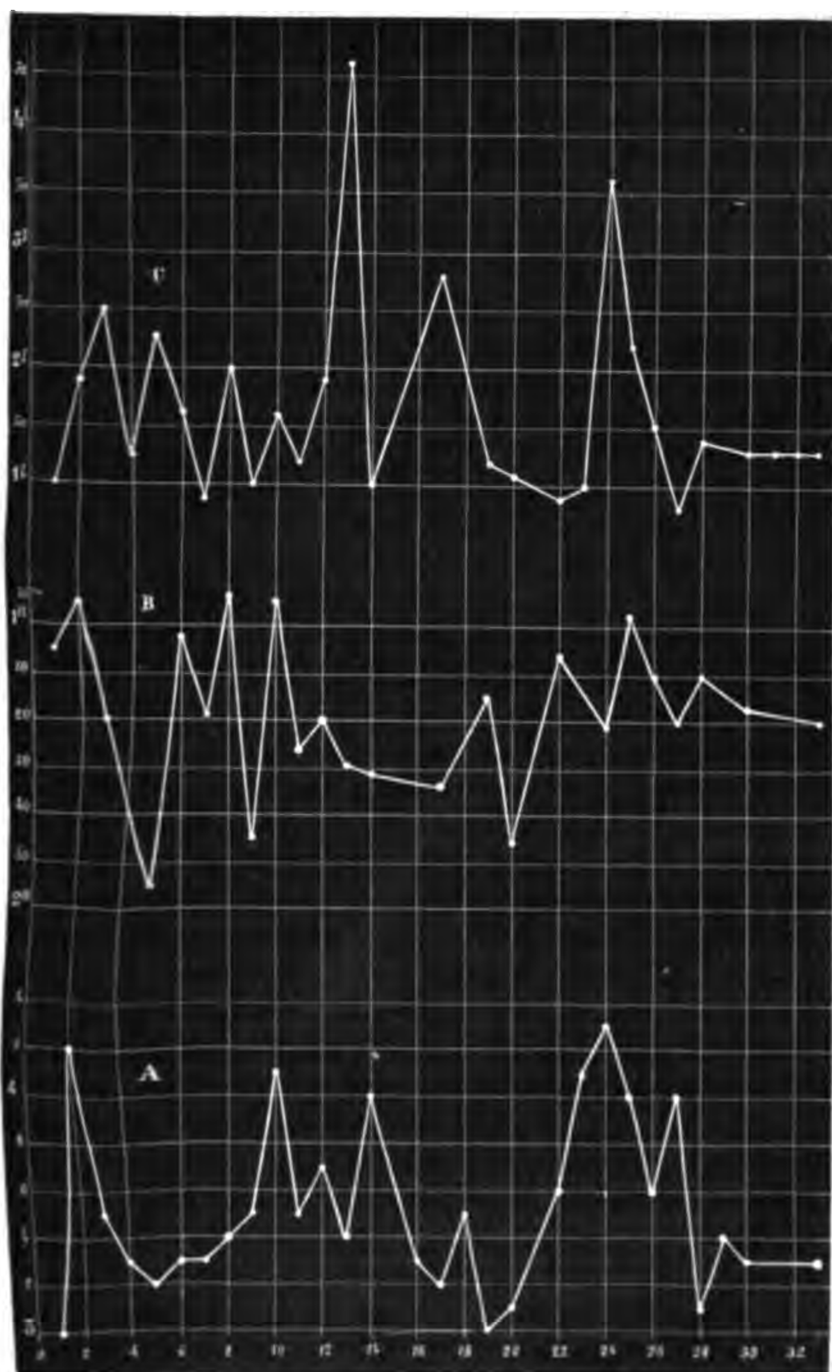
On ne trouve pas de rapports bien nets entre le tracé A (page 27, graphique III), qui exprime la tension de l'oxygène à la fin de l'expérience (colonne 9), et le tracé B, qui exprime la durée de la vie des Oiseaux (colonne 6). Cette durée est calculée en rapportant à 76 centimètres le volume de l'air déprimé, et en cherchant combien de temps a vécu l'Oiseau pour chaque litre

d'air ainsi déterminé. Il résulte de la comparaison des deux graphiques, — dans lesquels les expériences sont classées par numéros d'ordre, et où, par conséquent, la pression va en diminuant de gauche à droite, — que l'épuisement plus ou moins grand de l'air (graphique A) n'est rien moins qu'en rapport constant avec la durée de la vie (B), une durée très-courte pouvant coïncider avec un épuisement considérable (expérience 8), ou inversement (expérience 14). Cependant, si l'on prend la moyenne de la durée de la vie correspondant aux épuisements avancés (au-dessous de 3,5), on trouve le chiffre de 1 heure 11 minutes ; tandis qu'en faisant le même calcul pour les faibles épuisements, on trouve 1 heure 23 minutes (la moyenne générale étant, colonne 6, de 1 heure 16 minutes). Ainsi, d'une manière générale, plus l'animal vit longtemps, plus il épuise l'air, et cela n'a rien que de très-naturel.

Nous enquérant ensuite de la durée de la vie dans ses rapports avec la capacité des cloches où mouraient les animaux, cette capacité étant, bien entendu, rapportée à 76 centimètres de pression, et laissant de côté les cas tout à fait exceptionnels, comme ceux des expériences 15, 21, 31, 32, et même 35 et 36, nous voyons que le graphique C, qui exprime ces volumes variés, n'a rien de commun avec le graphique B. Une capacité considérable peut coïncider avec une durée médiocre de la vie (expériences 13, 24), ou inversement (expérience 9). Mais si, comme dans le cas précédent, nous considérons les capacités correspondant aux durées de vie plus longues que la moyenne (1 heure 16 minutes), nous trouvons que leur valeur moyenne est de 2 litres, tandis que, pour les morts plus rapides, la valeur n'est que de $1^{lit},5$. Donc, d'une manière générale encore, la vie est plus longue quand la capacité des vases est plus grande (le tout rapporté, cela est évident, à l'unité de volume et à l'unité de pression).

Nous retrouvons ainsi, non modifiée par l'influence de la diminution de pression, une loi qu'avait autrefois formulée M. Claude Bernard, tout en en signalant les nombreuses exceptions : les principales sont dues au repos ou à l'agitation de l'animal ren-

Graphique III.



fermé, qui use plus ou moins vite la quantité d'air laissée à sa disposition.

Il nous reste maintenant à comparer les graphiques C et A, c'est-à-dire la capacité des vases avec l'épuisement d'oxygène. Ici encore les tracés concordent peu; nous rencontrons même des résultats fort opposés les uns aux autres, comme celui de l'expérience 19, où, à un vase étroit, correspond un épuisement maximum, et celui de l'expérience 24, où, dans un très-grand vase, il y a eu peu d'épuisement, comparés aux expériences 14 et 16 qui parlent en sens inverse; mais si l'on prend des moyennes, on voit que les chiffres inférieurs à 3,5 (graphique A) correspondent à une moyenne de $1^{lit},8$, tandis que ceux qui sont supérieurs correspondent à $1^{lit},6$. Il y a donc en somme quelque avantage pour les vases de grande capacité, et c'est encore une conclusion en rapport avec celles de M. Cl. Bernard. Mais les différences sont bien faibles, et l'on comprend, en examinant ces résultats assez nombreux, les contradictions non des expériences, mais des expérimentateurs.

Si maintenant, revenant sur nos pas, nous examinons à nouveau le tracé supérieur du graphique I (page 21), qui exprime la somme $CO_2 + O$ de l'acide carbonique produit, joint à l'oxygène restant dans l'air confiné devenu mortel, nous voyons que constamment cette somme est plus faible que le chiffre 20,9 qui équivalait à l'oxygène primitif. Ainsi se retrouve à toutes les diminutions de pression le fait signalé par les anciens auteurs sur l'asphyxie en vases clos. Mais ici nous voyons en outre que, aux très-faibles pressions, la valeur $CO_2 + O$ est plus forte; au-dessus d'une demi-atmosphère, elle est, en moyenne, de 18,7, et au-dessous elle est de 19,2. Ainsi, aux très-basses pressions, il sort dans l'air extérieur une proportion d'acide carbonique plus forte par rapport à celle de l'oxygène consommé. En étudiant les gaz du sang sans diminution de pression, nous nous rendrons aisément compte de ce phénomène.

En définitive, dans la mort en vases clos sous l'influence de la diminution de pression, tout ce que nous venons de voir tend à montrer que la mort est due pour la plus grande part, sinon pour

le tout, à la privation d'oxygène, malgré la richesse de l'air ambiant. L'acide carbonique, bien évidemment, ne joue aucun rôle sérieux. Mais la diminution de pression, en tant qu'agent physique direct, a-t-elle quelque importance? La privation d'oxygène explique-t-elle tout?

Pour répondre à cette question, j'ai eu l'idée d'expérimenter avec de l'air très-riche en oxygène, afin de pouvoir diminuer considérablement la pression barométrique, sans trop abaisser la tension de l'oxygène. J'indiquerai bientôt les résultats des expériences entreprises par cette méthode ; mais je crois devoir auparavant énoncer ceux que m'ont fournis, dans l'air ordinaire, des animaux autres que les Moineaux, dont j'ai jusqu'ici exclusivement parlé.

Ils sont résumés dans le tableau ci-après (tableau II, p. 30) :

J'appellerai en peu de mots l'attention sur quelques détails de ces faits, sans rentrer dans l'étude analytique développée à propos des Moineaux.

On remarquera d'abord, par l'inspection de la colonne 10, que pour chaque espèce se trouve vérifiée la loi établie par les expériences précédentes, le chiffre qui exprime la tension de l'oxygène dans l'air mortel étant sensiblement constant.

Pour les Chouettes et les Cresserelles, Rapaces voisins de tant d'oiseaux de haut vol, ce chiffre (4,5) indique une susceptibilité à la dépression qui a lieu d'étonner, et qui paraît peu concorder avec le genre de vie de leurs congénères : les Moineaux avaient donné pour moyenne 3,5.

Chez les Chats, le chiffre est presque aussi élevé (4,4); il l'est notablement plus que chez les Lapins (3,8), et surtout que chez les Cochons d'Inde (2,5). Il s'abaisse encore davantage chez les Chats nouveau-nés (2,2), qui se rapprochent ainsi des animaux à sang froid. Les résultats que m'ont donnés ceux-ci ne sont pas assez intéressants pour que je les indique avec détail. Chez les Grenouilles, le chiffre moyen est de 1,5 (1). Tout cela est par-

(1) Des Chrysomèles, aux pressions de 76c,9 et même 4 centimètres, ont épuisé complétement l'oxygène de l'air, et, laissées pour mortes, sont ensuite revenues à la vie.

TABLEAU II.

1. Numéros.	2. ESPÈCE D'ANIMAL.	3. Poids.	4. Pression barométrique.	5. Capacité de la cloche.	6. Durée de la vie.	7. Durée par litre d'air rapporté à 76 c. de pression et par kilogr. d'animal.	8. Composition de l'air mortel. O.	9. CO^2.	10. $\frac{O \times P}{76}$
	OISEAUX.								
		gr.	c	lit.	h. m.	m.			
1.	*Strix psilodactyla*.....	125	76	2,25	1 53	6,2	3,3	13,4	3,3
2.	Id.................	125	27,5	7	1 10	3,4	13,4	6,4	4,8
3.	Id.................	125	22,5	7,5	37	2,1	17,1	3,3	5,0
4.	Id.................	170	19	11,5	35	2,1	17,6	2,6	4,4
5.	*Falco Tinnunculus*.....	»	19,5	13,5	12	»	20	0,8	5,1
					Moy.	3,4		Moy.	4,5
	MAMMIFÈRES.								
1.	Chat d'un mois.......	280	76	3,2	1 20	7,7	4,4	13,4	4,4
2.	Id.................	380	51	7	1 20	7,1	7,2	11,4	4,9
3.	Id.................	460	21,8	13,5	29	3	15,5	5,1	4,4
4.	Id.................	665	16	15,5	5	»	19	1	4
5.	Id.................	485	16	15,5	20	3	»	»	»
6.	Chat adulte..........	2570	29,5	21,5	25	8,7	10,3	9,6	4
					Moy.	5,9		Moy.	4,4
7.	Chats âgés de 3 jours..	125	58	550cc	1 55	33	0,3	17,1	2,2
8.	Id.................	125	25,5	2,5	2 35	24	7,1	13,5	2,4
9.	Id.................	125	20,5	3,2	4 15	37	8,5	12	2,2
10.	Id.................	125	13,5	5	4 30	32	13	7	2,2
					Moy.	31		Moy.	2,2
				kil.					
11.	Lapin..............	»	76	11,5	2	»	3,7	15,2	3,7
12.	Id.................	1,9	41	20,7	1 25	16	5,9	13,3	3,2
13.	Id.................	1,3	16	31	13	»	19	1,6	4,0
14.	Id.................	1,6	29	20,7	»	»	11	9	4,2
								Moy.	3,8
15.	Cochon d'Inde........	42 0	76	3,2	1 20	12	2,3	16,4	2,3
16.	Id.................	47 0	46,5	5	1 20	14	3,5	16	2,1
17.	Id.................	58 0	16	13	1 12	16	14,5	9,8	3,0
18.	Id.................	4 90	12	10	15	»	19	3,1	3,0
19.	Id.................	4 85	13,5	13,5	9	»	19,1	2,3	3,4
20.	Id.................	6 20	35	16	2 55	24	4,9	17,2	2,2
21.	Id.................	5 20	28	13,5	2 20	17	5,4	15,7	2,0
22.	Id.................	6 20	19,5	19	2 40	21	8,1	15,6	2,0
					Moy.	17,3		Moy.	2,5
				lit.					
23.	Chien.............	4^k,3	43	31	.....	.....	.....	5,4	3,0

faitement en rapport avec les faits connus sur les conditions générales de la vie chez les Carnassiers, comparés aux Herbivores; chez les adultes, comparés aux nouveau-nés; chez les Cochons d'Inde, si faciles à refroidir, à abaisser pour ainsi dire, etc.

La colonne 7 nous présente encore des résultats assez intéressants; elle correspond à la colonne 6 du tableau de la page 22. Seulement ici le poids des animaux étant très-variable, il a fallu compliquer le calcul en rapportant la durée de la vie non-seulement au litre d'air sous la pression normale, mais au kilogramme d'animal. Ce nouvel élément donnerait pour les Moineaux, dont le poids ordinaire est d'environ 30 grammes, une moyenne voisine de 2 minutes.

Or, pour les Chouettes, la moyenne est notablement plus forte; de plus, chez les Mammifères, elle est beaucoup plus forte que chez les Oiseaux; elle est encore plus forte chez les Herbivores que chez les Carnassiers, et bien plus enfin chez les nouveau-nés que chez les adultes. Ce sont encore là des faits qui concordent fort exactement avec ce que nous ont appris MM. Regnault et Reiset sur la consommation plus ou moins grande d'oxygène que font les animaux (parité de poids) dans un temps donné, suivant leur taille, leur espèce, leur nourriture, leur âge, etc. Les faits en apparence exceptionnels se rapportent également à des lois connues : ainsi le Cochon d'Inde de l'expérience 15, dont la vie a été remarquablement courte, n'avait cessé de s'agiter dans la cloche, tandis que celui de l'expérience 20, où elle a duré deux fois plus, s'était considérablement refroidi.

Tout ceci, j'insiste à nouveau sur ce point, montre que la mort dans l'air confiné aux pressions inférieures à celle d'une atmosphère, étudiée dans ses divers aspects, fournit des résultats qui se mettent tout à fait en série avec ce que nous savons sur la consommation de l'oxygène et l'asphyxie en vases clos, etc.; d'où résulte la plus grande probabilité que ce sont les modifications apportées dans la respiration, et particulièrement dans l'absorption de l'oxygène, qui occasionnent les troubles consécutifs à la diminution de pression.

Voilà la probabilité; arrivons maintenant à la démonstra-

tion. Nous avons vu que, dans une atmosphère confinée, à quelque pression que ce soit (au-dessous d'une atmosphère), la mort des Moineaux survient lorsque la tension de l'oxygène dans l'air ambiant s'abaisse à 3,5 en moyenne. Lorsque la pression est assez élevée, le chiffre de la tension n'arrive aussi bas qu'après un certain temps, qu'après un épuisement dû à la respiration de l'animal lui-même ; mais l'altération chimique de l'air qui en est la conséquence devient, comme nous l'avons vu, de moins en moins importante au fur et à mesure que la pression diminue; si bien que, vers 15 centimètres de pression, la mort arrive dans de l'air pur : elle arrive même, comme je m'en suis maintes fois assuré, sous courant d'air, et le confinement, l'altération chimique, ne sont ici pour rien.

Si les troubles divers, dont le détail prendra place ailleurs, qui commencent à se manifester lorsque la pression s'abaisse à 25 centimètres; si les accidents graves qui surviennent vers 20 centimètres ; si la mort qui survient aux environs de 15 centimètres; si tous ces phénomènes sont réellement dus à la faible tension de l'oxygène à ces divers moments, on devra les éviter en augmentant convenablement cette tension, sans modifier pour cela la pression barométrique.

C'est ce à quoi il est facile d'arriver par l'emploi d'airs artificiels suffisamment riches en oxygène. Je disposais l'expérience de la façon suivante : L'animal étant placé sous la cloche, je faisais le vide jusqu'à 25 centimètres de pression environ ; puis je laissais la pression normale se rétablir, en faisant rentrer de l'oxygène au lieu d'air; la même manœuvre, répétée deux ou trois fois de suite, remplissait la cloche d'un air fortement suroxygéné, sur lequel je pouvais ensuite faire une diminution considérable de pression avant de fermer les robinets.

Dans ces conditions, je voyais, à la première diminution de pression, l'Oiseau devenir très-malade vers 25 centimètres par exemple ; dans l'air plus oxygéné, on passait, sans encombre, cette pression, et le malaise n'apparaissait qu'aux environs de 18 centimètres ; plus bas encore, à la troisième dépression ; plus bas, à la quatrième. Et, tandis qu'il m'a été extrêmement diffi-

cile, malgré maintes précautions, comme je le disais plus haut (page 25), d'amener un Oiseau dans l'air à 15 centimètres de pression, j'ai pu, dans une atmosphère d'oxygène presque pur, les faire descendre brusquement jusqu'à 8 et même 7 centimètres.

Lorsque, sous ces très-basses pressions, je fermais les robinets et laissais périr l'Oiseau, la mort arrivait, suivant la règle établie ci-dessus, au moment où la tension de l'oxygène s'abaissait au chiffre 31 ou 4. C'est ce que montre le tableau suivant (tableau III).

TABLEAU III.

1. Numéros.	2. Pression.	3. Richesse en oxygène du mélange.	4. Tension de cet oxygène à 76 c.	5. Composition de l'air mortel. O.	6. Composition de l'air mortel. CO^2.	7. Tension de l'oxygène dans l'air mortel.
1.	18c	85,9	20,3	15,4	68,1	3,6
2.	14	»	»	23,8	48	4,3
3.	12,5	88,4	14,5	22,2	66	3,6
4.	8	82,3	8,6	41,8	37,2	4,4
5.	6,6	87	7,5	66,7	17,3	5,8

Il reste donc établi que, soit dans un vase clos, par altération respiratoire, soit dans un courant d'air, la mort arrive par suite de la diminution de tension de l'oxygène ambiant. La diminution de pression barométrique n'est qu'un des moyens d'obtenir cette tension insuffisante. Mais il en est un second qui consiste à abaisser la proportion centésimale. C'est ce qui résulte évidemment de la simple considération de l'expression $O \times P = 3,5$.

La conséquence générale de tout ceci, c'est que les troubles, les accidents, la mort, qui surviennent par l'effet de la diminution de pression, sont dus tout simplement à l'asphyxie; c'est qu'un animal soumis à une diminution croissante de pression est semblable à un animal qui s'asphyxie en vases clos, dans l'air ordinaire, sous la réserve peu importante, comme nous le verrons plus tard, de l'action de l'acide carbonique produit. Le voyageur qui, s'élevant sur le flanc d'une montagne, sent un malaise croissant l'arrêter presque complétement quand la pression n'est plus que d'une demi-atmosphère, est comparable,

malgré la pureté proverbiale de l'air qu'il respire, à ces mineurs de Bretagne qui deviennent incapables de tout travail dans les mines de pyrite, dont l'air, suivant Félix Leblanc (1), ne contient plus que 10 à 12 pour 100, que demi-proportion d'oxygène. La tension de l'oxygène est tout : la pression barométrique en elle-même ne fait rien ou presque rien.

J'insisterai sur ces faits et sur les conclusions à en tirer dans un autre chapitre, et j'indiquerai également ailleurs les conséquences pratiques qui peuvent en sortir.

§ 2.

Augmentation de pression.

Les appareils dans lesquels j'ai étudié la composition de l'air comprimé devenu mortel par le confinement ne m'ont permis d'expérimenter que sur des animaux de petite taille. Ils sont de verre, de forme globuleuse ou cylindrique, d'une capacité qui varie de $0^{lit},6$ à 2 litres. Il serait oiseux, je crois, d'en donner ici une description détaillée.

Lorsque j'ai commencé mes expériences sur la mort dans l'air confiné et comprimé, j'étais en droit de me demander si la règle que je venais de trouver pour l'air dilaté s'appliquerait encore ; si le produit $O \times P$ restant constant et égal en moyenne à 3,5, il en résulterait un épuisement d'autant plus grand (en proportion centésimale) de l'oxygène de l'air, que la pression serait plus élevée. Dans cette hypothèse, on ne devrait, à 3,5 atmosphères, trouver dans l'air que 1 pour 100 d'oxygène, que 0,5 pour 100 à 7 atmosphères, etc. L'expérience a montré combien cette manière de voir serait éloignée de la vérité.

Le tableau suivant (tableau IV) résume en effet les résultats d'une première série d'expériences faites sur des Moineaux :

(1) *Recherches sur la composition de l'air dans les mines* (*Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, 1846, t. XV.

TABLEAU IV.

1.	2. Pression en atmosphères.	3. Composition de l'air mortel. O.	4. CO².	5. O × P.	6. CO² × P.
1.	1 1/2	2,6	15,2	3,9	22,8
2.	1 1/2	2,5	15,4	3,7	23,1
3.	1 3/4	4,9	12,9	8,6	22,6
4.	2	5	13,7	10	27,4
5.	2 1/2	8,5	11,2	21,2	28,0
6.	3 3/4	11,1	7,2	41,3	27,0
7.	5	13,8	5,5	69	27,5
8.	6	16,0	4,2	98	25,2
9.	7	16,2	3,7	113,4	25,9
10.	8,8	17,4	2,8	153,1	24,6
				MOYENNE.........	25,4

La colonne 3 montre que l'air est de moins en moins épuisé en oxygène, à mesure que la pression augmente (à partir de 1 1/2 atmosphères) ; la tension de l'oxygène est donc ici hors de cause, ou du moins elle n'est jamais trop faible. L'acide carbonique (colonne 4) est également de moins en moins important en proportion centésimale. Mais si nous considérons la colonne 6 qui exprime sa tension, nous voyons que celle-ci (toujours à partir d'une atmosphère et demie) reste sensiblement constante, oscillant autour du chiffre 25,4.

Voici donc une cause nouvelle de mort : c'est à savoir une tension exagérée de l'acide carbonique, l'oxygène ne faisant nullement défaut. M. Claude Bernard avait, il y a longtemps, signalé une mort semblable chez les animaux maintenus en vases clos dans de l'air très-suroxygéné ; les expériences assez nombreuses que j'ai moi-même publiées, il y a quelques années, sur ce sujet, m'ont donné pour les Moineaux des nombres exprimant la proportion d'acide carbonique mortel, sous la pression ordinaire dans l'oxygène, nombres tout à fait voisins de la moyenne 25,4 ci-dessus signalée.

J'ai répété ces expériences ; je les ai même variées en employant non-seulement des atmosphères suroxygénées, mais des

pressions inférieures à 76 centimètres. Je faisais ainsi une sorte de contre-expérience de la théorie donnée au paragraphe précédent pour expliquer la mort sous diminution de pression, et de celle que je donne actuellement pour expliquer la mort, en vases clos, sous pression de 1 à 8 atmosphères. En effet, dans l'air dilaté, sous la condition de fournir assez d'oxygène, la mort va arriver, comme dans l'air comprimé, par tension exagérée de l'acide carbonique.

C'est ce que montre le tableau suivant (tableau V) :

TABLEAU V.

1. Numéros.	2. Pression.	3. Richesse en oxygène du mélange primitif.	4. Composition de l'air mortel. O.	5. CO^2.	6. O × P.	7. CO^2 × P.
1.	76	91	64,5	24,8	64,5	24,8
2.	76	»	63,3	24,8	63,3	24,8
3.	64	»	54,7	27,7	46,0	23,3
4.	55	87,8	50,1	36,3	36,2	26,2
5.	55	79,6	42,3	35,3	30,6	25,5
6.	51	91,5	54,9	35,7	36,8	24,2
7.	43	»	29,8	42,4	16.8	24,5
8.	38	»	36,6	49,3	18,3	24,6
9.	36	89,8	30,1	57,6	14,2	27,2
10.	34	82	17,5	63,3	7,8	28,3
11.	34	»	27,4	60	12,2	26,8
12.	29	»	13,1	66	5,0	25,2
13.	25	89,2	15,3	72,1	5,0	23,7
14.	18	85,9	15,4	68,1	3,6	15,2
			MOYENNE de 1 à 13...........			25,7

L'examen de ce tableau montre que, quelle qu'ait été la pression (colonne 2), ou la composition centésimale primitive (colonne 3), pourvu que l'oxygène y soit en tension suffisante, la mort est arrivée avec une tension d'acide carbonique sensiblement égale à celle ci-dessus indiquée, puisque la moyenne des treize premières expériences donne 25,7.

Inversement, si nous parvenons, dans l'air comprimé en vases clos, à nous débarrasser de l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation, nous arrivons à des résultats tout à fait en rap-

port avec la théorie énoncée au paragraphe précédent, et dont les conséquences sont indiquées page 34. C'est-à-dire que l'épuisement de l'oxygène sera beaucoup plus considérable, en composition centésimale, qu'à la pression normale et surtout aux pressions inférieures, en telle sorte que la tension soit voisine de la moyenne 3,5.

Pour y parvenir, j'ai placé tout autour de mes Oiseaux sous pression des bandes de papier à filtre, imbibées d'une solution de potasse : procédé d'une application difficile, l'animal se mouillant parfois de potasse, d'où une mort prématurée. Cependant j'ai pu obtenir des résultats précis : ainsi, à 4 atmosphères d'air, la mort est arrivée avec $CO^2 = 0$, et Ox. $= 0,8$; d'où Ox. $\times$ P $= 3,2$; à 10 atmosphères, épuisement presque complet de l'oxygène.

Cette méthode est encore une double contre-épreuve qui vérifie à la fois les deux théories données ci-dessus.

Revenons maintenant à notre dernier tableau (tableau V). Nous voyons d'abord qu'à l'expérience 14, la tension de l'acide carbonique dans l'air mortel n'a été que de 15,2. C'est qu'ici le rôle dominateur est joué par la privation de l'oxygène, dont la tension dans l'air mortel n'est plus que de 3,6.

Cette expérience 14 est au reste la première du tableau III (page 33), où cette question est particulièrement étudiée. Or, dans ce cas précisément, la tension de l'oxygène dans le mélange primitif était exprimée par 20,3 (tableau III, colonne 4), c'est-à-dire qu'elle était égale à celle de l'oxygène dans l'air ordinaire à la pression normale. Aussi voyons-nous que les résultats sont identiques pour la mort, par l'air ordinaire confiné, à la pression de 76 centimètres (tableau I, expériences 1 à 4, colonnes 7 et 8), et par la mort dans une atmosphère à 85,9 pour 100 d'oxygène, sous la pression de 18 centimètres (tableau V, expérience 14, colonnes 6 et 7). Dans l'une et l'autre circonstance, on trouve des nombres tout à fait semblables pour exprimer, *en tension*, l'oxygène (3,5 ou 3,6) et l'acide carbonique (14,7 et 15,2), tandis que les compositions centésimales diffèrent entre elles comme 18 diffère de 76 (3,5 et 15,4 ; 14,7 et 68,1).

Ces faits suggèrent, on le comprend, des réflexions qui touchent à la théorie de l'asphyxie ordinaire, et au rôle qu'il convient d'y attribuer à la privation d'oxygène et à l'excès d'acide carbonique. Je renvoie leur développement à un autre chapitre.

Lorsqu'on examine avec attention la colonne 6 du tableau IV (page 35), on voit que, à partir de 2 atmosphères, le chiffre de la tension de l'acide carbonique, tout en restant voisin de la moyenne ci-dessus indiquée, va en diminuant à mesure que la pression augmente. Cette légère différence ne m'avait pas tout d'abord frappé; mais lorsque je fis, dans un réservoir cylindrique de verre capable de supporter une pression de 25 atmosphères, des expériences à des pressions supérieures à celles du tableau IV, j'obtins des chiffres qui me démontrèrent l'intervention d'un autre élément dans la question.

J'inscris ici ces résultats sous forme de tableau (tableau VI).

TABLEAU VI.

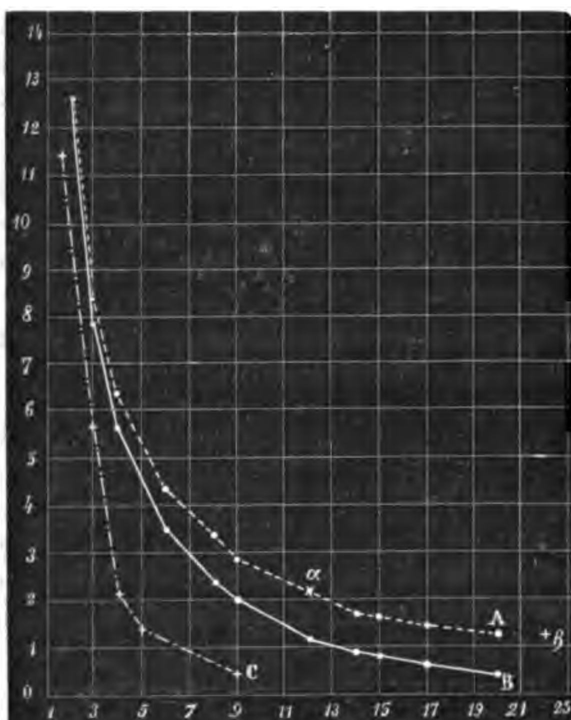
1. Numéros.	2. Pression.	3. Durée de la vie.	4. Tension de l'oxygène.	5. Composition de l'air mortel. O.	6. Composition de l'air mortel. CO^2.	7. $\frac{CO^2}{O}$	8. $CO^2 \times P$.
		h. m.					
1.	2atm.	» »	41,8	3,2	12,6	0,72	25,2
2.	3	1 50	62,7	10,7	7,8	0,75	23,4
3.	4	1 35	83,6	13,2	5,6	0,72	22,4
4.	5 3/4	1 30 } 1 34	120,1	15,5	3,8	0,70 } 0,70	21,8 } 21,6
5.	6	1 20	125,4	16	3,5	0,71	21,0
6.	8	1 38	167,2	16,8	2,4	0,60	19,2
7.	9	1 10	188,1	17,5	2	0,59	18,0
8.	12	45	250,8	18,5	1,2	0,50	14,4
9.	12	»	250,8	18,7	1,3	0,59	15,6
10.	14	»	292,6	18,8	0,9	0,43	12,6
11.	14	39	292,6	»	0,9	»	13,2
12.	15	»	313,5	19.4	0,8	0,53	11,2
13.	17	39	355,3	18,8	0,6	0,30	10,2
14.	20	25	418,0	»	0,4	»	8,0

Un premier coup d'œil jeté sur la colonne 8 montre en effet que le nombre qui exprime la tension de CO^2 diminue rapidement à partir de 8 atmosphères, mais qu'il va en décroissant dès 3 atmosphères. Je laisse de côté ce fait secondaire qu'il

n'atteint jamais la valeur inscrite au tableau IV de 27 ou 28; cela tient à la dimension des récipients, à la température ambiante, et à d'autres circonstances peu importantes.

La quantité de plus en plus faible de l'acide carbonique, eu égard à la loi ci-dessus énoncée, se montre d'une manière très-

Graphique IV.



nette sur le graphique ci-dessus, où la ligne pleine B exprime les chiffres de la colonne 6 (tableau VI), tandis que la ligne pointillée A rejoint des points qui sont calculés en partant de l'équation $CO_2 \times P = 25,2$, d'où $CO^2 = \frac{25,2}{P}$. Cette ligne est, de même que celle des proportions mortelles de l'oxygène dans les basses pressions, une branche d'hyperbole équilatère, ayant pour asymptotes les coordonnées.

Cet abaissement constant du tracé au-dessous de la courbe

qu'indiquait la théorie, devait me faire penser à l'intervention d'un agent autre que l'acide carbonique. Déjà des expériences de tâtonnement m'avaient montré que l'oxygène, sous une certaine pression, est une cause d'accidents et de mort. Son rôle funeste me paraissait manifeste ici. Deux méthodes pouvaient servir à faire preuve pour ou contre mon hypothèse.

Dans la première, je pouvais employer, pour faire la pression, de l'air peu riche en oxygène, l'action de celui-ci devant bien évidemment dépendre de sa tension, c'est-à-dire du produit O×P. Or, dans deux expériences, qu'il suffit de rapporter ici, j'ai eu les résultats suivants :

A. Pression de 12 atmosphères, avec de l'air à 7 pour 100 d'oxygène (tension de l'oxygène $7 \times 12 = 84$, correspondant à 4 atmosphères d'air ordinaire). A la mort, l'air contenait CO : 2,1, dont la tension $2{,}1 \times 12 = 25{,}2$, donnait précisément la moyenne. Le point α indique sur le graphique la position qui revient à cette expérience.

B. Pression de 22 atmosphères avec de l'air à 10 pour 100 d'oxygène; air mortel, $CO^2 = 1{,}1$; tension 1, $1 \times 22 = 24{,}2$. Sur le graphique, point β, parfaitement en place.

La seconde méthode consiste à employer au contraire de l'air suroxygéné, et à montrer que la tension de l'acide carbonique mortel y est beaucoup plus faible que dans l'air ordinaire. Voici les résultats de quelques expériences (tableau VII) :

TABLEAU VII.

1. Numéros.	2. Pression.	3. Tension de l'oxygène primitif.	4. Composition de l'air mortel. O.	5. Composition de l'air mortel. CO^2.	6. $CO^2 \times P$.
1.	1 atm. 3/4	146,3	67,8	11,9	20,8
2.	3	258	78,9	5,6	16,8
3.	4	301	71,1	2,1	8,4
4.	5	415	80,5	1,4	7,0
5.	8,5	433,5	47,8	0,8	6,8

La simple inspection de la colonne 5 et de la ligne ponctuée

inférieure C du graphique précédent (p. 39) montre que l'hypothèse est complétement confirmée. Il est donc démontré que l'oxygène, sous une certaine tension, est un agent redoutable qui vient d'abord mêler son action à celle de l'acide carbonique produit, et qui, pour les hautes tensions, est la cause principale, bientôt unique, de la mort. Cette tension, mesurée par l'expression $O \times P$, pouvant être atteinte, suivant la remarque déjà si souvent faite, soit en augmentant la pression P, soit la richesse centésimale O.

Un fait aussi remarquable, aussi paradoxal en apparence, méritait une étude approfondie. D'autant plus que, si l'on élimine dans l'air confiné l'acide carbonique produit, soit en opérant un courant d'air suffisant, soit en employant la potasse, l'oxygène reste seul pour expliquer les accidents qui surviennent. Je me contente ici de cette indication. L'étude de cette importante et curieuse question sera faite en son lieu avec le soin qu'elle mérite (voy. page 82).

J'en dis autant des applications pratiques qu'il est possible d'en tirer.

Je reviens maintenant pour quelques instants au tableau VI (page 38). Si nous examinons la colonne 3, nous voyons que la durée de la vie a été en diminuant à mesure que la pression augmentait. On pouvait prévoir à l'avance qu'elle n'augmenterait pas, malgré la quantité de plus en plus grande d'air que les Oiseaux avaient à leur disposition, par cette raison que leur mort est déterminée non par l'épuisement de l'air, mais par la formation d'une quantité d'acide carbonique toujours la même ou à peu près. N'était l'intervention de l'oxygène, les valeurs de la colonne 3 devraient être sensiblement les mêmes ; mais l'action de plus en plus redoutable de l'oxygène les fait diminuer, et cela très-rapidement à partir de 9 atmosphères.

D'autre part, si nous nous reportons à la colonne 6 du tableau I (p. 22), nous voyons que la durée moyenne de la vie a été, par litre d'air rapporté à 76 centimètres, de une heure un quart. Ici, sous pression, dans notre récipient de 570 centimètres cubes, entre 3 et 9 atmosphères, la durée moyenne de la

vie a été d'une heure et demie, ce qui donne par litre d'air environ deux heures et demie, c'est-à-dire le double de ce qui arrive pour les pressions d'une atmosphère et au-dessous.

Ce résultat se comprend aisément. Lorsqu'un Oiseau meurt en vases clos, dans l'air à la pression normale, il laisse environ 13 centièmes d'acide carbonique; or, le chiffre mortel de la tension de ce gaz est 26, et, pour arriver à ce nombre, il faudra à l'animal à peu près le double de temps. On peut donc considérer qu'un animal en vases clos, à des pressions de 3 à 10 atmosphères, peut vivre environ deux fois plus de temps que s'il était renfermé dans le même vase simplement à la pression normale : ceci peut avoir quelques applications pratiques au point de vue expérimental.

Une autre conséquence intéressante découle d'un examen attentif des expériences résumées dans le tableau VI (p. 38). Si nous nous enquérons de la quantité d'oxygène disparue pendant le confinement, ce qui s'obtient facilement en comparant les chiffres de la colonne 4 avec le produit P×O de ceux des colonnes 2 et 5, nous trouvons que les Oiseaux, avant de mourir, ont consommé toujours des quantités à peu près égales d'oxygène (exprimées par des chiffres qui oscillent de 27 à 35). Or, il s'en faut de beaucoup qu'ils aient vécu le même temps aux basses et aux hautes pressions (colonne 3). De là résulte cette conséquence qu'aux très-hautes pressions, les Oiseaux ont, dans un temps donné, absorbé beaucoup plus d'oxygène qu'aux pressions de 3 à 9 atmosphères; cela tient, comme nous le verrons plus loin, à ce que leurs tissus s'imprègnent d'oxygène, et je montrerai que la vraie consommation physiologique diminue au contraire.

Mais si la quantité d'oxygène disparue reste à peu près constante, la quantité d'acide carbonique produite (colonne 8) diminue considérablement, ainsi que je l'ai déjà dit. Si donc nous cherchons la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$ entre l'acide carbonique produit et l'oxygène disparu, rapport sur l'importance duquel les recherches de MM. Regnault et Reiset ont depuis longtemps

appelé l'attention, nous trouvons (colonne 7) que ce rapport s'abaisse jusqu'à diminuer de moitié pour les pressions très-élevées. A ces pressions donc, l'oxygène absorbé en excès par les animaux n'est pas employé à fabriquer de l'acide carbonique en excès. L'excrétion de ce gaz ne paraît même pas être modifiée considérablement. Si, en effet, nous considérons que, en une heure et demie (moyenne de la colonne 3), de 3 à 9 atmosphères, les Oiseaux ont rejeté 21,6 d'acide carbonique (moyenne de la colonne 8), il est facile de constater que dans le même temps, l'Oiseau à 14 atmosphères (exp. 11) aurait produit 30 de ce gaz ($39^m : 13,2 = 1^h\,30 : x = 30$), celui à 17 atmosphères en aurait fourni 23, et celui à 20 atmosphères 28, malgré leur agitation; dans le même temps, les quantités d'oxygène disparu auraient été, de 3 à 9 atmosphères de 31,5, et à 17 atmosphères de 82,1. Aussi le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est-il tombé de 0,70 à 0,30. Nous reviendrons plus tard sur ces faits.

Je termine en donnant l'indication et l'explication d'un fait qui, au début de nos recherches, m'avait semblé un peu paradoxal. Lorsqu'un Oiseau sous pression commençait à devenir malade, si je lui ajoutais de l'air pur, je ne le soulageais nullement; au contraire, une amélioration évidente se manifestait lorsque je laissais échapper une partie de son air. Ceci s'explique aisément. Supposons que l'animal soit à 3 atmosphères et qu'il ait déjà formé 6 centièmes de CO^2; la pression de ce gaz, $6 \times 3 = 18$, est suffisante pour rendre malade l'Oiseau. Si j'injecte 3 atmosphères d'air pur, la tension de CO^2 devient $3 \times 6 = 18$, c'est-à-dire qu'elle ne change pas, puisque si la pression augmente de moitié, la proportion centésimale diminue de moitié; l'animal n'est donc nullement soulagé. Si, au contraire, je lâche une demi-atmosphère, la tension devient $6 \times 1,5 = 9$, d'où résulte un mieux-être immédiat. Cet apparent paradoxe confirme donc encore, par voie indirecte, ce que j'ai déjà démontré.

RÉSUMÉ.

En résumé, l'étude de la mort dans l'air confiné sous des pressions diverses, si nous en dégageons les résultats principaux des questions incidentes que nous avons, chemin faisant, soulevées et résolues, nous amène aux formules suivantes.

Dans l'air ordinaire :

A. Aux pressions inférieures à celles d'une atmosphère, la mort des animaux survient lorsque la tension de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur constante (qui, pour les Moineaux, équivaut en moyenne à $O \times P = 3,5$).

B. Pour les pressions comprises entre 2 et 9 atmosphères environ, la mort arrive lorsque la tension de l'acide carbonique s'élève à une certaine valeur constante (qui, pour les Moineaux, équivaut en moyenne à $CO^2 \times P = 25$).

C. Pour les pressions très-élevées, la mort est due exclusivement à la tension trop considérable de l'oxygène ambiant. Elle arrive rapidement quand la tension de ce gaz atteint $O \times P = 300$ ou 400.

D. Pour les pressions de 1 à 2 atmosphères, la mort semble être due surtout à l'abaissement de la tension d'oxygène, mais en partie également à l'augmentation de la tension de CO^2.

E. A partir de 3 ou 4 atmosphères. l'intervention funeste de l'oxygène commence à se faire sentir, et devient très-manifeste vers 9 ou 10 atmosphères.

Les expériences faites, soit avec des mélanges gazeux plus ou moins riches en oxygène, soit en présence d'alcalis capables d'absorber l'acide carbonique à mesure qu'il se forme, nous amènent à donner à ces lois un caractère de généralité bien plus grand encore, et nous pouvons les formuler de la manière suivante (en les appliquant, pour plus de clarté, aux Moineaux) :

La tension d'un gaz étant représentée par le produit de sa proportion centésimale que multiplie la pression barométrique : Q×P, on voit que la mort arrive :

A. Quand la tension de l'oxygène s'abaisse au-dessous de 3,5, que la pression soit supérieure ou inférieure à la pression normale. Il faut, bien entendu, dans le premier cas, se débarrasser de CO^2 par un alcali ou par un courant d'air.

B. Quand la tension de l'acide carbonique s'élève au-dessus de 25, que la pression soit supérieure ou inférieure à la pression normale. Il faut, bien entendu, dans ce dernier cas, employer des mélanges suroxygénés.

C. Quand la tension de l'oxygène arrive à dépasser 300, quelles que soient la composition centésimale et la pression (celle-ci ne pouvant être évidemment inférieure à 3 atmosphères avec de l'oxygène pur).

D. Ces genres de mort peuvent se combiner deux à deux, A avec B et B avec C, suivant les pressions et les compositions gazeuses employées.

La mort A est une véritable *asphyxie* par privation d'oxygène ; la mort B est un *empoisonnement par l'acide carbonique ;* la mort C peut être appelée, pour la facilité du discours, et malgré ce qu'il y a d'étrange dans une pareille expression, un empoisonnement, un *empoisonnement par l'oxygène.*

On voit, et c'est là le résultat le plus général auquel nous arrivions, que, dans tous les cas, la pression barométrique, dans ses variations, n'est jamais directement, par elle-même, la cause des phénomènes. Elle n'est qu'une des conditions qui font varier la tension des gaz, et l'autre facteur, la composition centésimale, peut parfaitement, s'il marche en sens inverse, en contre-balancer les effets de même qu'il les augmentera rapidement, s'il marche dans le même sens.

Si maintenant nous laissons de côté l'acide carbonique produit, pour nous placer dans des conditions plus voisines de celles où se présente, dans la nature ou l'industrie, le problème

qui nous occupe, nous en arrivons à conclure, en négligeant certains phénomènes tout à fait secondaires sur lesquels nous reviendrons en leur lieu :

1° Que trois animaux dont l'un épuise par sa respiration un espace clos plein d'air, dont le second est contraint de respirer dans un courant d'air de moins en moins riche en oxygène, dont le troisième est soumis à une diminution graduelle de pression, — que ces animaux sont tous les trois, par ces procédés si divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par privation d'oxygène, par véritable asphyxie.

2° Que deux animaux dont l'un respire dans un courant d'air de plus en plus riche en oxygène et dont l'autre est soumis à une pression barométrique croissant de 1 à 5 atmosphères, sont dans des conditions identiques. Qu'au delà, l'animal qui respire de l'oxygène pur à 2, 3, 4 atmosphères de pression, etc., est dans les mêmes conditions que celui qui respire de l'air pur à 10, 15, 20 atmosphères : tous deux sont, par ces procédés divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par excès d'oxygène, d'un empoisonnement d'une espèce jusqu'ici inconnue.

Pas assez d'oxygène en tension, ou trop d'oxygène, toute l'influence que les modifications de la pression barométrique exercent sur les êtres vivants, se résume en ces termes.

Telle est l'explication fort simple que nous donnent des expériences dans lesquelles nous avons considéré le milieu ambiant bien plus que l'animal. Mais cette tension trop faible ou trop forte de l'oxygène doit être étudiée maintenant, non-seulement dans sa mesure, mais dans ses conséquences prochaines : il faut examiner avec plus de soin l'animal lui-même.

La première question dont je vais m'occuper maintenant est celle de la composition des gaz contenus dans le sang d'animaux soumis à diverses pressions.

CHAPITRE II.

DES GAZ DU SANG D'ANIMAUX SOUMIS A DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES.

Les gaz ont été extraits du sang par la méthode du vide barométrique, aidé de la chaleur. Pour les raisons indiquées dans l'avant-propos, je ne donnerai aucune description des instruments que j'ai employés. Mais je crois devoir dire que la température à laquelle je soumets le sang est d'emblée de 70° à 90°, peut-être même plus (le ballon étant plongé dans l'eau bouillante). Dans ces conditions, l'extraction est extrêmement rapide, et se fait en un ou deux coups de pompe, c'est-à-dire en moins d'une minute.

J'ai commencé par faire un grand nombre d'expériences critiques, afin de déterminer la valeur de mes procédés d'extraction et d'analyse ; elles ont été fort satisfaisantes, et les erreurs de ce chef n'entament guère que la première décimale. Quant aux causes d'erreur qui proviennent de l'animal lui-même (saignées successives, modifications du rhythme respiratoire, agitation ou repos, etc.), elles sont beaucoup plus importantes.

Pour donner un exemple extrême de l'étendue des modifications qui peuvent en résulter dans la composition des gaz du sang, je citerai seulement l'expérience suivante :

On tire à la carotide d'un chien vigoureux 33^{cc} de sang, et l'on en extrait les gaz, ce qui donne, par 100^{cc} de sang, à 16 degrés : $O = 17^{cc}$; $CO^2 = 43^{cc}$. On ouvre alors la trachée pour y fixer une canule. Les respirations deviennent extraordinairement accélérées ; au bout de cinq ou six minutes de ce rhythme, on reprend du sang. Il est beaucoup plus rouge, et contient : $O = 24{,}9$; $CO^2 = 16{,}2$.

Mais, je le répète, ceci est un extrême ; rien de comparable, à beaucoup près, ne s'est présenté chez des animaux respirant par les voies naturelles. Un grand nombre d'expériences me permettent d'affirmer que les circonstances dépendantes de la

manière d'être de l'animal, sans être négligeables, ne sont pas telles qu'on ne puisse conclure, nonobstant leur intervention, à l'abri de laquelle on ne peut pas toujours se mettre. Sans entrer dans aucun détail, je dirai que le chiffre de l'oxygène ne peut guère en être altéré de plus d'une unité, et celui de l'acide carbonique de plus de 2 ou 3 unités. Cela ne saurait nous arrêter; mais il faut convenir que le souci d'une précision parfaite dans les procédés d'analyse (méthode de Bunsen, lectures à la lunette, etc.) serait ici à peu près ridicule. Je me suis contenté, dans mes analyses d'air, du procédé classique et si commode de la potasse dissoute et de l'acide pyrogallique.

Il est nécessaire d'ajouter ici que je me suis seulement occupé du sang artériel. L'artère mise en expérience était presque toujours la carotide. Cela n'a du reste pas d'importance, tout étant comparatif. A peine est-il besoin de dire que je n'ai pu opérer que sur des Chiens.

§ 1.

Diminution de pression.

L'extraction de sang dans les artères d'un Chien soumis à une certaine diminution de pression n'est pas chose facile. La plus grande difficulté consiste en ceci que, lorsque la dépression barométrique est supérieure à la pression du sang dans l'artère, l'air tend à s'introduire par la sonde qui, placée dans cette artère, traverse les parois de l'appareil, et à pénétrer dans le cœur, d'où il est lancé dans la circulation. J'ai eu ainsi, bien malgré moi, des observations curieuses, soit de mort subite, soit d'altérations localisées des centres nerveux par ces espèces d'embolies aériennes; mais ce n'est point le lieu d'en parler. Je suis cependant parvenu, grâce à un outillage que j'ai fini par rendre assez simple, à me mettre presque toujours à l'abri de cet accident.

L'animal étant solidement fixé sur une sorte de cadre destiné à l'approcher le plus possible de la paroi de l'appareil, je faisais une première saignée (de 25 à 33 centimètres cubes) pour

extraction des gaz. Puis commençait la diminution de pression, qui marchait en moyenne à raison de 1 centimètre par minute; arrivé au point voulu, j'y maintenais l'animal pendant dix minutes environ, et faisais la seconde extraction. Je n'ai pu que très-rarement en faire une troisième, à cause de la coagulation du sang dans les sondes; mais assez souvent, après avoir ramené l'animal à l'air libre, je prenais une nouvelle quantité de sang, à titre de comparaison : et ici, pour peu que j'eusse attendu quelques minutes, je retrouvais les mêmes chiffres que lors de la première extraction.

Je résume dans le tableau ci-après (tableau VIII, p. 50) les résultats des expériences. Les volumes gazeux sont ramenés à 0 degré et à 76 centimètres. Les diverses pressions sur lesquelles j'ai surtout insisté vont en diminuant de 10 en 10 centim. (56, 46, 36, 26 centim., qui marque la limite à laquelle je puis atteindre dans les circonstances ordinaires, avec mon appareil). La pression de 56 centimètres présente cet intérêt tout spécial d'être celle des plateaux les plus habités de l'Amérique centrale et méridionale; la pression de 36 centimètres correspond à peu près au maximum de hauteur qu'ont pu atteindre les voyageurs dans les montagnes; enfin, c'est aux environs de 26 centimètres que perdirent connaissance, dans leur célèbre ascension de 1862, MM. Glaisher et Coxwell (1). Ces trois niveaux sont donc particulièrement curieux à considérer.

Je signalerai d'abord, sans y insister davantage pour le moment, les variations des nombres inscrits dans les colonnes 2 et 3; elles montrent quelles différences, chez des animaux de même espèce et placés dans des conditions en apparence identiques, peut présenter la richesse du sang en oxygène et acide carbonique.

En arrivant maintenant au point qui doit nous occuper spécialement, un simple coup d'œil jeté sur les chiffres des colonnes 7 et 8 du tableau, comparés aux chiffres correspondants des colonnes 2 et 3, nous fait voir que, dans tous les cas, sous pres-

(1) Glaisher, Flammarion, W. de Fonvielle et G. Tissandier : *les Voyages aériens*, Paris, 1870, p. 64.

sion diminuée, l'oxygène et l'acide carbonique ont diminué dans le sang artériel. Il n'y a pas eu d'exception à cet égard.

TABLEAU VIII.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
NUMÉROS.	PRESSION NORMALE. — Gaz du sang dans 100 cc.				DIMINUTION DE PRESSION.		Gaz du sang dans 100 cc.			GAZ DISPARU en volume.		GAZ DISPARU pour 100.	
	O.	CO^2.	$CO^2 + O$.	$\frac{CO^2}{O}$	Pression.	O.	CO^2.	$CO^2 + O$.	$\frac{CO^2}{O}$	O.	CO^2.	O.	CO^2.
1.	21,6	36,3	57,9	1,7	57c	18,6	35,4	54,0	1,9	3,0	0,9	13,8	2,5
2.	21,5	35,0	56,8	1,5	56	21,1	34,7	55,8	1,6	0,7	0,3	3,2	0,8
3.	17,4	33,8	51,2	1,9	56	15,5	28,0	43,5	1,8	1,9	5,8	10,9	17,1
4.	16,9	45,7	62,6	2,7	56	12,4	35,0	47,4	2,8	4,5	10,7	26,6	23,4
5.	21,5	35,0	56,8	1,6	46	20,3	30,5	50,8	1,5	12,0	4,5	5,5	12,9
6.	20,1	41,1	61,2	2,0	46	13,2	40,7	53,9	3,0	6,9	0,4	34,3	1,4
7.	17,4	33,8	51,2	1,9	46	12,5	26,4	38,9	2,1	4,9	7,4	28,1	21,8
8.	19,8	29,1	48,9	1,5	44	16,3	23,3	39,6	1,4	3,5	5,8	12,6	19,9
9.	20,6	39,0	59,6	1,9	36	11,9	25,2	37,1	2,1	8,7	13,8	4,2	35,3
10.	20,1	41,1	61,2	2,0	36	8,9	34,3	43,2	3,8	11,2	6,8	55,6	16,8
11.	13,3	34,9	48,2	2,6	36	8,5	21,4	29,9	2,5	4,8	13,5	36,1	38,6
12.	17,4	33,8	51,2	1,9	36	10,8	22,8	33,6	2,1	6,6	11,0	37,9	32,5
13.	16,9	45,7	62,6	2,7	36	9,6	33,9	43,5	3,5	7,3	11,8	43,2	25,8
14.	18,8	39,7	58,5	2,1	31,4	12,0	31,0	43,0	2,6	6,8	8,7	36,2	21,9
15.	19,4	48,4	67,8	2,4	31	13,6	36,5	50,1	2,7	5,8	11,9	29,3	24,4
16.	18,3	32,8	51,1	1,8	26	9,8	24,5	34,3	2,5	8,5	8,3	46,4	25,3
17.	20,8	46,1	66,9	2,2	26	9,2	13,7	22,9	1,5	10,6	32,4	55,7	70,3
18.	22,6	39,7	62,3	1,8	26	9,8	23,1	32,9	2,3	12,8	16,6	55,7	41,8
19.	21,5	41,9	63,4	1,9	22	10,7	22,0	32,7	2,0	10,8	19,9	50,0	47,5
20.	20,8	46,1	66,9	2,2	18	7,6	12,9	20,5	1,7	13,2	33,2	63,4	72,0
21.	20,8	46,1	66,9	2,2	17	7,1	11,9	19,9	1,7	13,7	34,2	65,8	74,2
MOYENNE, sauf 20 et 21.				1,9	....				2,3				
MOYENNES.													
1 à 4..	19,3	37,7	»	»	à 65c	16,9	33,2	»	»	»	»	13,6	10,9
5 à 8..	19,7	34,8	»	»	45	15,6	30,2	»	»	»	»	21,1	14,0
9 à 15.	18,0	40,4	»	»	34	10,8	29,3	»	»	»	»	43,0	29,2
16 à 19. (sauf 17)	20,8	38,1	»	»	25	10,1	23,2	»	»	»	»	50,7	38,2
20 et 21	20,8	46,1	»	»	17	7,3	12,4	»	»	»	»	64,6	73,1

Mais la mesure de cette diminution a considérablement varié,

comme le montrent les colonnes 11, 12, 13 et 14. L'étude de ces deux dernières est particulièrement instructive; elles donnent la proportion centésimale des gaz disparus, et ont été obtenues par des opérations semblables à celles-ci (exp. n° 1) :

Ox.... 21,6 (col. 2) : 3 (col. 11) = 100 : x = 13,8 (col. 13).
CO^2.... 36,3 (col. 3) : 0,9 (col. 12) = 100 : x = 2,5 (col. 14).

Examinant d'abord la colonne 7, nous voyons que la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel a pu, à des pressions de 30 ou 40 centimètres, s'abaisser à 9^{cc} pour 100 centimètres cubes de sang; c'est-à-dire qu'à ce moment, *le sang artériel était notablement moins riche en oxygène que du sang veineux ordinaire.*

La diminution de l'acide carbonique a été également (col. 8) très-considérable; les chiffres exprimant la proportion de ce gaz se sont en effet abaissés jusqu'à 11 et 12 pour 100.

Si nous considérons les expériences faites à une même diminution de pression, nous voyons que la perte en gaz a singulièrement varié de l'une à l'autre. Ainsi, à 36 centimètres, le sang a perdu de 36,1 à 55,6 centièmes de son oxygène (col. 13) et de 16,8 à 38,6 de son acide carbonique (col. 14). Nous essayerons plus loin d'expliquer ces différences.

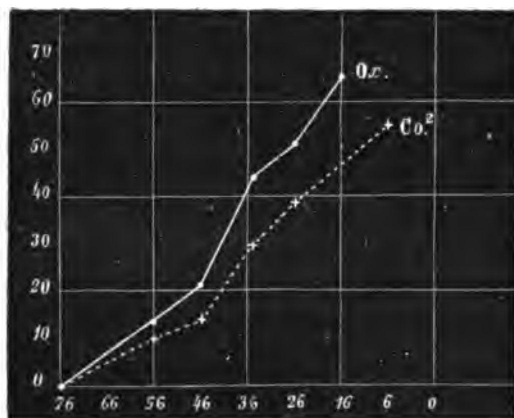
Que si nous faisons disparaître ces inégalités par le système des moyennes, nous obtenons les chiffres inscrits à la fin des colonnes 13 et 14, qui nous fournissent les éléments du graphique V ci-après (pressions sur les abscisses; proportions disparues, sur les ordonnées).

Ce qui frappe, à première inspection, soit des chiffres, soit du tracé, c'est que la perte en acide carbonique a toujours été (sauf pour la moyenne à 17 centimètres, je dirai tout à l'heure pourquoi) moindre que celle de l'oxygène. Ce résultat se traduit encore sous une autre forme dans les colonnes 5 et 10 du tableau, où se trouvent des nombres exprimant la proportion de l'acide carbonique à l'oxygène sous les diverses pressions. Ce rapport, à la pression normale, a oscillé de 1,5 à 2,7, avec une moyenne de 1,9; tandis qu'aux faibles pressions, il a oscillé de

1,5 à 3,8, avec une moyenne de 2,3. Dans presque tous les cas, le chiffre de la colonne 10 est plus fort que celui qui lui correspond dans la colonne 5; les exceptions se rapportent à des cas où le sang, à la pression normale, contenait peu d'acide carbonique (de 29 à 35).

Le graphique montre encore que la diminution des gaz ne se fait pas suivant la loi de Dalton (exprimée par la bissectrice de l'angle des coordonnées). C'est l'acide carbonique qui s'en éloigne le plus. Cependant il faut dire que l'écart n'est pas énorme pour l'un ni l'autre gaz.

Graphique V.



Cela est fort remarquable, si l'on se reporte aux opinions qui ont cours sur l'état dans lequel se trouvent les gaz dans le sang, d'après les recherches de Fernet, aujourd'hui classiques. L'oxygène, d'une part, uni chimiquement aux globules, ne serait pas modifiable, quant à sa proportion, pour la pression diminuée (ou augmentée). L'acide carbonique, au contraire, en grande partie à l'état de simple dissolution ou de combinaison serait très-impressionnable aux modifications barométriques. Le contraire a lieu, comme on vient de le voir.

Nous verrons que cette contradiction avec les conclusions de Fernet s'expliquera aisément. Fernet a toujours opéré *in vitro*, et l'oxygène ne commence à sortir du sang, dans ces conditions,

qu'à de très-basses pressions. Ainsi, tandis que, dans le sang en circulation, la différence commence à se faire nettement sentir dès la pression de 56 centimètres, on ne voit, dans la pompe à mercure, sortir l'oxygène du sang qu'aux environs de 15 à 20 centimètres. C'est qu'en même temps que la question de capacité par l'oxygène, se placent dans l'organisme vivant les questions de consommation d'oxygène, de mouvements respiratoires et circulatoires. Au surplus, nous reviendrons sur ce sujet dans une autre partie de ce travail.

On a pu remarquer que je n'ai pas inscrit au tableau d'expériences entre 76 et 56 centimètres : c'est que les différences que j'ai constatées dans ces limites étaient de l'ordre des erreurs d'analyse. Mais il est plus que probable que les phénomènes doivent marcher dans le même sens, bien qu'il ne soit pas possible de fixer le moment où les gaz commencent à être dans le sang en moindres quantités qu'à la pression normale.

Dans les vastes appareils que j'employais, je n'ai pas pu dépasser la pression de 17 centimètres, vu l'influence de rentrées d'air inévitables. Or, cette pression n'est pas mortelle pour les Chiens, qui ne périssent que vers 7 centimètres. J'ai bien tenté de tourner la difficulté en extrayant rapidement le sang de Chiens tués par dépression sous une vaste cloche de verre, et faisant l'analyse des gaz y contenus ; mais le retour à l'air libre amenait des mouvements intra-pulmonaires qui remplissaient le cœur gauche d'un sang beaucoup plus oxygéné que celui qui s'y trouvait au moment de la mort. Mais l'acide carbonique ne prête pas à une critique expérimentale aussi grave, et il est bon de noter que sa proportion était tombée d'environ 55 pour 100.

Or, en nous reportant au tableau VIII (p. 50), nous trouvons, à la pression de 17 centimètres, une perte bien plus forte, de 73 pour 100. Mais d'abord cette perte n'est pas une moyenne, puisqu'elle ne résulte que de deux analyses faites sur le même animal, dans la même expérience, l'une à 18 centimètres, l'autre à 17 centimètres, avec douze minutes d'intervalle.

De plus, pour arriver à cette dépression énorme, que je n'ai pu atteindre depuis, j'avais dû maintenir pendant une heure

l'animal à une pression inférieure à 30 centimètres. Voici, du reste, le détail de l'expérience :

EXPÉRIENCE. — Chien pesant 10 kilogrammes.

A. Pression normale; le sang contient : O, 20,8; CO^2, 46,1.

Commencé la dépression à 3h 25m; à 3h 55m, la pression n'est plus que de 24 centimètres, mais la machine à vapeur s'arrêtant, on ferme les robinets.

A 4h 5m, la pression est remontée à 38 centimètres; on se remet en marche.

B. *Exp.* 20 du tableau VIII. — A 4h 30m, pression 18 centimètres; le sang contient : O, 7,6; CO^2, 12,9.

C. *Exp.* 21. — A 4h 42m, pression 17 centimètres; le sang contient : O, 7,1; CO^2, 11,9.

On ouvre un peu les robinets.

D. *Exp.* 17. — A 4h 55m, la pression est à 26 centimètres; on l'y maintient, et à 5h 10m, le sang contient : O, 9,2 ; CO^2, 13,7.

E. Enfin, à 5h 13m, retour à la pression normale, et à 6h le sang contient : O, 20,8 ; CO^2, 40,5.

Je signalerai dans cette expérience la très-faible proportion d'acide carbonique qu'a retenue le sang en passant de 17 à 26 centimètres de pression (anal. D), malgré un quart d'heure d'intervalle. J'ai cru ne pas devoir faire entrer ce chiffre (exp. 17) dans la moyenne de la colonne 14 et dans le graphique qui l'exprime.

Un autre point intéressant est au contraire le retour des proportions normales de O, et à peu près normales de CO^2, lorsque l'animal a été ramené à la pression de 76 centimètres (trois quarts d'heure après). J'ai eu de nombreux exemples de cette réparation des gaz, exemples plus rapides encore.

Quant aux chiffres de B, C, D (exp. 20, 21, 17), je pense qu'il faut les considérer comme des minima pour l'acide carbonique, et j'ai préféré inscrire au graphique V (p. 52) les résultats fournis par les expériences à 7 centimètres, qui semblent

être plus près de la moyenne, et mieux rentrer dans la loi du graphique.

Il me serait facile de tirer maintenant des conséquences pratiques de la considération des faits qui précèdent, et de montrer ce qu'il advient du sang des voyageurs qui, soit en ballon, soit sur le flanc des montagnes, se soumettent à des diminutions importantes de pression. Mais je pense que ces réflexions se trouveront mieux à leur place dans le chapitre où je déduirai de l'ensemble des faits expérimentaux l'explication des troubles produits par les modifications de la pression. Je me contente ici de résumer les expériences en cette formule simple :

Quand la pression diminue, la quantité des gaz contenus dans le sang diminue également, mais en proportion un peu moindre que celle qu'indiquerait la loi de Dalton; le sang perd ainsi relativement plus d'oxygène que d'acide carbonique.

J'arrive maintenant à un autre point de vue d'ordre théorique. Je crois avoir démontré, dans le premier chapitre, que les accidents et la mort dans l'air dilaté sont la conséquence de la faible pression de l'oxygène extérieur, et qu'il s'agit là, en somme, d'une simple asphyxie par privation d'oxygène.

S'il en est ainsi, on doit, dans le sang d'un Chien soumis à l'asphyxie, retrouver l'appauvrissement en gaz des Chiens soumis à la décompression.

Pour vérifier cette hypothèse, deux méthodes se présentaient: 1° placer un animal dans un courant d'air de plus en plus pauvre en oxygène; 2° faire épuiser par l'animal une certaine quantité d'air, en se débarrassant, bien entendu, de l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation.

La première méthode m'a paru impraticable. Pour mettre en usage la seconde, j'ai adapté à des Chiens une muselière qui communiquait avec un sac contenant de 130 à 150 litres d'air; à l'expiration comme à l'inspiration, l'air barbotait dans une solution de potasse destinée à le dépouiller de son acide carbonique, ce à quoi, pour le dire en passant, il me fut impossible de parvenir complétement : l'air du sac contenait toujours de 1 à 2 pour 100 de ce gaz.

L'expérience ainsi disposée, je prenais d'heure en heure des échantillons de l'air du sac et du sang carotidien, pour l'analyse. J'ai vu ainsi que, au fur et à mesure de l'appauvrissement de l'air extérieur en oxygène, le sang s'appauvrissait également par rapport à ce gaz, ce qui n'a rien d'étonnant, mais aussi par rapport à l'acide carbonique, ce qui est plus remarquable. C'est ce qu'indique le tableau suivant (tableau IX) pour une de mes expériences.

TABLEAU IX.

	Au début.	Après 1 h.	Apr. 2 h.	Apr. 3 h.	Apr. 4 h.	Après 4 h. 1/2.	Meurt à 4 h. 40 m.
Oxygène du sac.	20,9	16,3	13,4	8,3	4,0	3,0	
CO^2...........	0,0	1,6	1,9	2,5	1,6	0,8	
Oxygène du sang.	18,2	16,6	15,9	9,8	6,7	0,7	p. 100cc de sang à 0° et 76c.
CO^2...........	50,8	47,7	45,1	40,2	37,9	25,0	

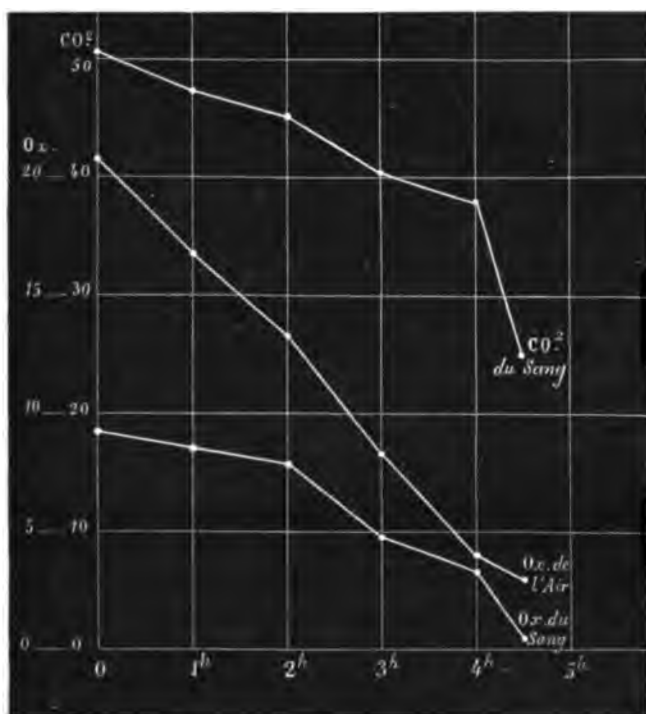
Les tracés ci-après (graphique VI), qui représentent les résultats du tableau IX, rendent encore cette décroissance plus facile à saisir. Les temps écoulés depuis le début de l'expérience y sont pris sur l'axe des abscisses; les ordonnées expriment les valeurs centésimales. Seulement, pour ménager la place, les ordonnées du tracé de l'oxygène de l'air sont deux fois plus hautes que celles des gaz du sang.

Examinons ces résultats d'un peu plus près. Envisageant d'abord l'oxygène de l'air, nous voyons qu'il a diminué : dans la première heure, de 4,6; dans la deuxième, de 2,9; dans la troisième, de 5,1; dans la quatrième, de 4,3. La consommation a donc été à peu près régulière, et cependant la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel a diminué, et diminué beaucoup plus irrégulièrement (1,6; 0,7; 6,1; 3,1, et dans la dernière demi-heure, 6). Je me borne ici à signaler ce fait sur lequel je reviendrai plus tard.

L'acide carbonique nous fournit les mêmes résultats. Bien qu'il en soit toujours resté dans l'air inspiré une certaine proportion qui aurait dû le maintenir un peu en excès dans le

sang, il a diminué très-notablement (3,1 ; 2,6 ; 4,9 ; 2,3 et, dernière demi-heure, 12,9). Ceci suggère encore d'autres réflexions qui reviendront en leur lieu.

Graphique VI.



Ici je ne veux m'occuper que de comparer les résultats fournis par la respiration dans l'air pauvre en oxygène avec ceux qu'a fournis déjà la respiration dans l'air dilaté. Pour rendre cette comparaison plus facile à saisir, j'ai disposé le graphique VII, page 59.

Sur les ordonnées sont comptés, comme à l'habitude, les nombres relatifs aux proportions centésimales des gaz extraits du sang. Mais, pour avoir un point de départ toujours le même, j'ai supposé que le sang, à la pression normale et dans l'air pur, contenait toujours, pour 100 volumes de sang : O, 20 pour 100, et CO^2, 40 pour 100, ce qui est à peu près la moyenne.

Ceci a entraîné des calculs de réduction dont voici un double exemple, tiré de l'expérience 1[re] (tableau VIII).

21,6 (col. 2) : 20 = 18,6 (col. 7) : x.
36,3 (col. 3) : 40 = 35,4 (col. 8) : y.

Je me sers des valeurs de x et de y pour la construction des tracés.

Les abscisses mesurent à la fois la proportion centésimale de l'oxygène ambiant, et la pression barométrique. Ainsi, 20,9 correspond à 76 centimètres ; la demi-atmosphère, 38 centimètres, correspond à $\frac{20,9}{2}$, etc. : c'est là ce qui va permettre de voir s'il y a, oui ou non, concordance entre les résultats des deux ordres d'expériences.

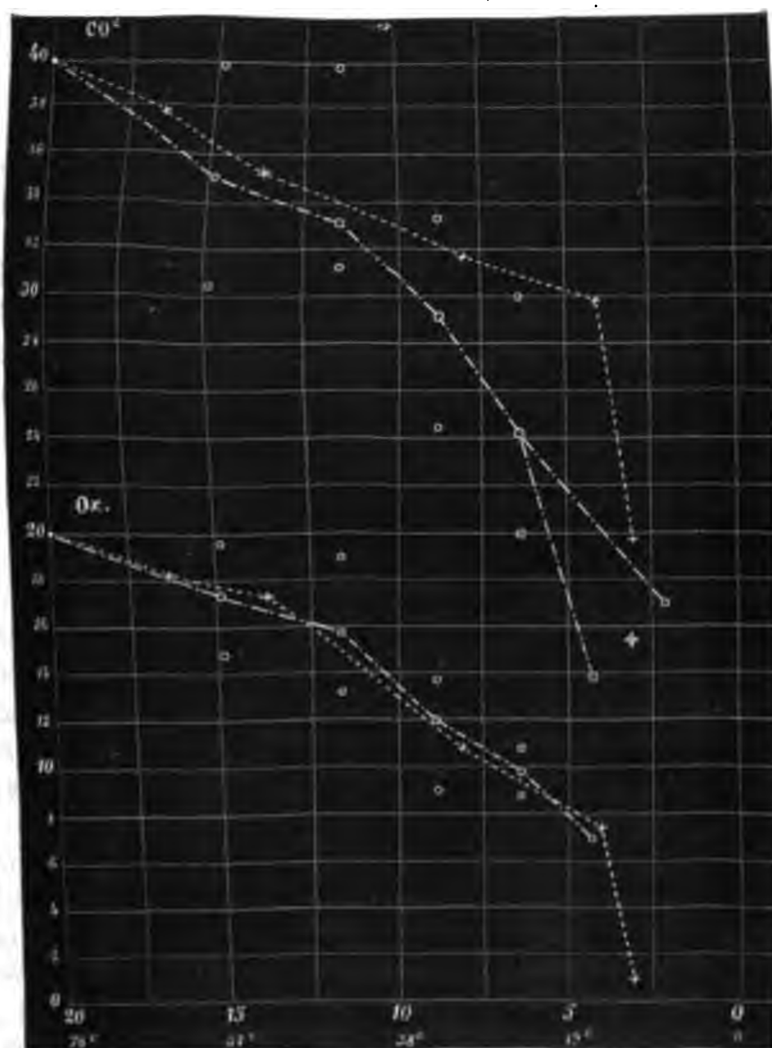
Enfin, les points relatifs aux diminutions de pression sont des moyennes tirées, par le calcul qui vient d'être indiqué, des chiffres inscrits à la fin des colonnes 7 et 8 du tableau VIII (page 50), comparés à ceux des colonnes 2 et 3 ; ils sont marqués par de petits cercles que réunissent des traits et des points o- · -o- · - · -o- · -; des cercles isolés indiquent les extrêmes fournis par les expériences prises isolément. Le pointillé .... exprime la moyenne de deux expériences d'asphyxie simple exécutées d'après la méthode que j'ai relatée quelques pages plus haut.

Or, pour l'oxygène, ce qui frappe tout d'abord, c'est la concordance remarquable qui existe entre les deux courbes. C'est un premier point acquis.

Pour l'acide carbonique, la concordance est moins parfaite. Mais il faut faire remarquer d'abord qu'il restait dans l'air en voie d'épuisement une certaine quantité d'acide carbonique sans laquelle le graphique pointillé serait certainement plus abaissé qu'il n'est. De plus, les irrégularités entre lesquelles ont été prises les moyennes reliées par la ligne à traits et à points sont très-fortes, pour l'acide carbonique, comme le montrent les petits cercles isolés. Il est donc probable que d'une très-grande quantité d'expériences on obtiendrait des moyennes qui se rapprocheraient davantage ; mais ceci m'a paru peu important à poursuivre.

Le grand intérêt consistait à montrer que, même à la pression normale, même en présence d'une consommation normale

Graphique VII.



d'oxygène, mais la proportion de ce gaz étant faible dans l'air respirable, on retrouve, dans les proportions de l'oxygène et de l'acide carbonique du sang artériel, les mêmes modifications que

lors de la respiration sous pression diminuée. De cet examen, comme de celui auquel nous nous étions livré dans le premier chapitre, il ressort la preuve que la dépression agit comme un simple agent asphyxiant.

§ 2.

Augmentation de pression.

Je laisserai momentanément de côté, pour en faire une étude à part, la question des gaz du sang dans l'air confiné et comprimé. Il ne s'agira ici que d'air pur comprimé.

Les expériences ont été beaucoup plus faciles à réaliser, le sang de l'animal placé sous pression tendant à s'échapper aisément par les sondes qui débouchaient au dehors et permettaient de l'extraire. Cela m'a permis de faire plusieurs expériences sur le même animal, les caillots étant chassés par la pression.

Voici les résultats d'expériences faites sur cinq animaux, cinq Chiens :

	Oxygène.	Acide carbon.	Azote.
1° Pression normale.............	19,4	35,3	2,2
A 3 atmosphères.............	20,9	35,1	4,7
6 —	23,7	35,6	8,1
10 —	24,6	36,4	11,3
2° Pression normale.............	18,3	37,1	2,2
A 2 atmosphères.............	19,1	37,7	3,0
5 —	20,6	40,5	6,1
10 —	21,4	36,8	11,4
3° Pression normale.............	18,4	47,7	2,5
A 3 atmosphères.............	20,0	42,2	4,4
6 3/4 —	21,0	41,3	7,1
9 1/4 —	21,2	39,8	9,3
4° Pression normale.............	22,8	50,1	2,3
A 5 atmosphères.............	23,9	35,2	6,0
8 —	25,4	37,6	9,5
5° Pression normale.............	20,2	37,1	1,8
A 5 1/2 atmosphères..........	23,7	35,5	6,7
10 —	24,7	37,9	9,8

Que si nous opérons sur l'ensemble de ces nombres les mêmes

calculs que ceux (voy. page 58) qui nous ont servi à construire le graphique VII, en prenant comme point d'origine, pour l'oxygène, 20, pour CO^2, 40, et pour Az, 2,2, nous obtenons le tableau suivant :

TABLEAU X.

	Oxygène.	Azote.	CO^2.
1 atmosphère...........	20,0	2,2	40
2 —	20,9	3	40,7
3 —	21,6	3,9	37,2
5 —	22,7	6	35,7
7 —	23,1	7	35,6
10 —	23,4	9,4	36,6

Les chiffres de ce tableau sont exprimés par le graphique VIII, qui indique ainsi la marche des gaz du sang aux diverses compressions.

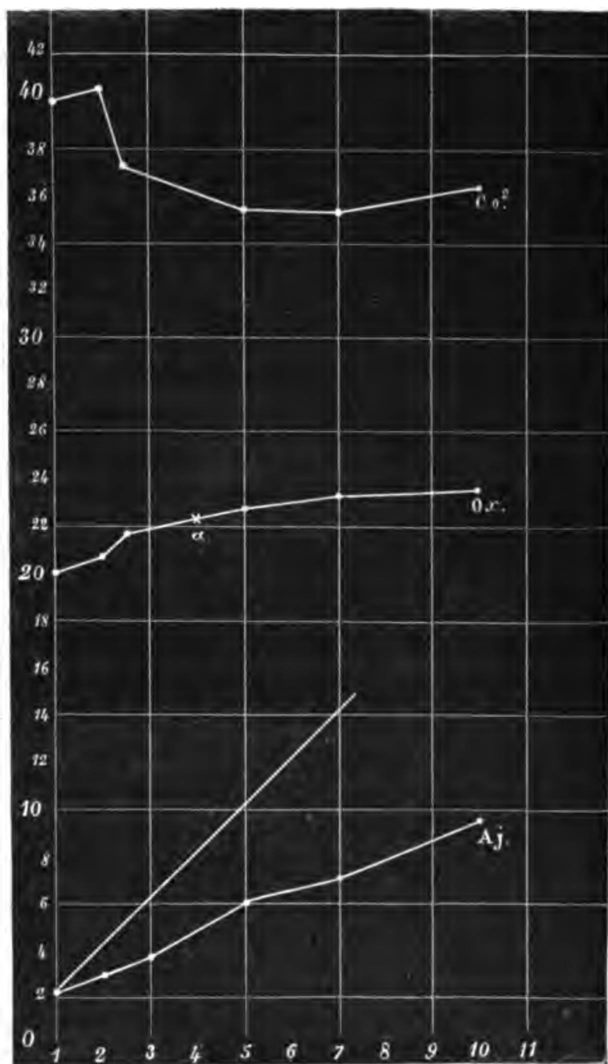
Azote. — Le graphique de l'azote nous montre que ce gaz augmente considérablement dans le sang, avec la pression, mais sans cependant obéir exactement à la loi de Dalton, car il devrait pour cela suivre le trajet de la ligne droite (il faut faire observer que l'origine de la courbe est, sans aucun doute, trop élevée; la quantité d'azote dissous dans le sang à la pression normale doit être comprise entre 1,5 et 2). Je montrerai, dans un autre chapitre, l'importance de cette quantité considérable d'azote dans le sang des animaux comprimés.

Oxygène. — L'oxygène augmente également, mais beaucoup moins, comme on devait le penser depuis les expériences de Fernet. De plus, la courbe monte plus vite au début que plus tard, ce qui semble indiquer que la combinaison de l'oxygène avec l'hémoglobine tend vers une saturation.

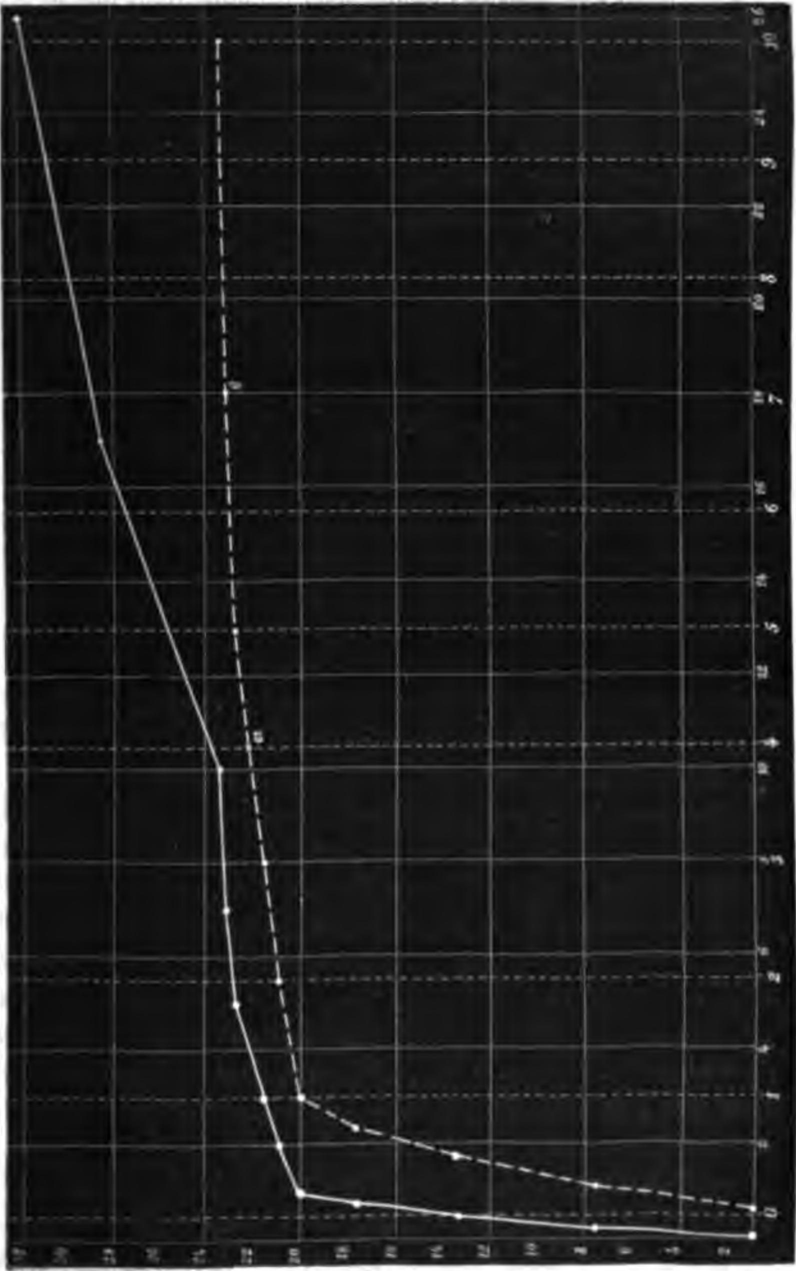
Si, du reste, nous nous reportons aux chiffres obtenus dans l'étude de la diminution de pression, et si nous construisons un graphique d'ensemble exprimant, sous une même échelle d'abscisses, la marche croissante de l'oxygène suivant la pression, nous serons frappés de la marche très-rapidement ascendante de la courbe dès ses débuts, puis de plus en plus surbaissée, et

devenant presque horizontale à partir de 5 atmosphères. C'est ce que montre le graphique IX (ligne ponctuée); les ordon-

Graphique VIII.



nées expriment les proportions d'oxygène, la pression est marquée sur les abscisses (chiffres de la ligne inférieure, verticales ponctuées).



Graphique IX.

Les chiffres ne sont pas moins nets. En admettant que le zéro de l'oxygène corresponde à la dépression mortelle de 7 à 8 centimètres, égale à 1/10e d'atmosphère, nous voyons que :

De 1/10 à 1/4 d'atmosphère, la proportion de l'oxygène a augmenté de	7,5
De 1/4 à 1/2	5,7
1/2 à 3/4	4,3
3/4 à 1	2,5
De 0 à 1 atmosphère	20
1 à 2	0,9
2 à 3	0,7
3 à 4 } divisant par 2 la différence de 3 à 5 = 1,1...	0,6
4 à 5	0,5
5 à 6	0,2
6 à 7	0,2
7 à 8	0,1
8 à 9	0,1
9 à 10	0,1
	23,4

Nous reviendrons dans un instant sur les réflexions que suggère ce fait intéressant. Contentons-nous de constater, pour le moment, qu'un ouvrier qui travaille à la pression de 2 à 5 atmosphères n'a pas beaucoup plus d'oxygène dans le sang qu'à la pression normale. Il y a plus, et ceci n'est pas à négliger pour l'explication de l'inégalité des phénomènes manifestés par les divers ouvriers, j'ai vu des animaux qui avaient normalement dans le sang, à la pression normale, plus d'oxygène que d'autres à 10 atmosphères : c'est ainsi que, dans les expériences sous pression diminuée, certains de mes Chiens avaient, à la pression normale (voy. tableau VIII, p. 50, exp. 4 et 11), moins d'oxygène que d'autres à une pression de 56 centimètres et même de 44 centimètres (exp. 1, 2, 5, 8).

Acide carbonique.— Le graphique VII (p. 59, tracé CO^2, ligne à traits et à points) montre une augmentation considérable de la proportion d'acide carbonique, lorsque la pression monte de 17 centimètres à 76. Ce mouvement, déjà ralenti à partir de 38 centimètres, paraît se continuer encore un peu entre 1 et

2 atmosphères. Mais il cesse bientôt (graphique VIII, p. 62, tracé CO^2) pour faire place à une diminution, irrégulière comme toujours, mais constante, dans les moyennes (et à peu près constante dans les expériences prises isolément).

Dans tous les cas, il reste bien établi que rien, chez les ouvriers qui travaillent sous pression, ni dans les emplois thérapeutiques de l'air comprimé, ne peut être attribué à une augmentation dans l'acide carbonique du sang, quand la ventilation est bonne. J'insisterai ailleurs sur ce point important.

Mais maintenant pourquoi le CO^2 n'augmente-t-il pas pendant la pression, puisqu'il diminue pendant la dépression?

Rappelons d'abord que ce gaz, produit incessamment dans les profondeurs des tissus, est maintenu dans le sang en certaine proportion par la pression du gaz de même nature qui existe dans les alvéoles et bronchioles pulmonaires. Il se crée à lui-même son obstacle. L'air des alvéoles contient, ainsi que je l'ai autrefois établi (1), de 6 à 8 pour 100 de CO^2, à la pression normale : c'est donc une tension moyenne de $7 \times 1 = 7$ dans l'air, qui maintient la moyenne de 40 dans le sang.

La pression barométrique augmentant, à 7 atmosphères, par exemple, la tension sera toujours la même, et s'exprimera par $\frac{7}{7} \times 7 = 7$. En effet, comme la production en acide carbonique, en poids, dans un temps donné, n'aura pas augmenté (voy. p. 42 et 88), la proportion centésimale aura diminué dans le rapport même de l'augmentation de pression; il n'y aura plus que $\frac{7}{7} = 1$ pour 100 de CO^2 dans l'air, qui, multiplié par le chiffre des atmosphères, donne encore la tension constante 7.

Dans le cas de la diminution de pression, même raisonnement : mêmes conséquences, ce semble. Mais ici la question se complique. D'abord, si nous supposons l'animal à demi-atmosphère, la proportion de l'acide carbonique du poumon s'élèvera à 14 pour 100; la richesse en oxygène de l'air des vésicules

(1) *Leçons sur la respiration*, 1869, p. 161.

pulmonaires s'appauvrit ainsi, et l'animal est entraîné, pour essayer de la rétablir, à une ventilation plus active qui, diminuant la tension $14 \times \frac{1}{2} = 7$, laisse sortir plus d'acide du sang.

Mais la raison principale est ailleurs que dans la diminution de la pression barométrique. Nous avons vu, en effet (tableau VIII), que la richesse en acide carbonique diminue dans le sang par le fait seul de la respiration d'un air moins riche en oxygène. C'est donc dans les conditions chimiques de la formation de CO^2, conditions troublées, qu'il faut chercher la cause la plus importante de cette diminution. Il en est sans aucun doute de même pour la diminution qui coïncide avec les pressions supérieures à une atmosphère.

Maintenant, ici comme pour les pressions diminuées, se pose la question de la comparaison entre les gaz du sang d'animaux soumis à des pressions diverses et d'animaux respirant des atmosphères plus ou moins oxygénées. C'est évidemment aux atmosphères riches en oxygène qu'il faut comparer le sang dans l'air comprimé; seulement, nous ne pouvons aller au delà de 100 centièmes, correspondant à 5 atmosphères d'air; en pratique même, on ne peut guère dépasser 90 centièmes, soit 4 atmosphères et demie. Or, la moyenne d'un assez grand nombre d'expériences faites sur des animaux respirant alternativement l'air ordinaire et ces atmosphères suroxygénées, à la pression normale, m'ont donné, pour la proportion d'oxygène du sang, la valeur 22,3 (en moyenne), valeur qui, transportée sur les graphiques VIII et IX (point α), coïncide d'une manière bien remarquable avec les tracés.

J'ai donc pu pousser mes recherches plus haut que 10 atmosphères, en faisant respirer à mes Chiens de l'air suroxygéné sous pression. Pour cela, après avoir extrait et mesuré les gaz contenus dans le sang sous les conditions ordinaires, j'introduisais l'animal dans la machine à compression, je lui adaptais à la trachée un sac plein d'air suroxygéné, et j'exerçais la pression sur le tout. L'extraction du sang à diverses pressions, la composition de l'air du sac avant et après l'expérience, me permettaient

d'établir des calculs qui, par le système des moyennes, m'ont donné des résultats assez satisfaisants.

C'est ainsi que j'ai trouvé, par des pressions d'oxygène qui correspondaient aux diverses pressions barométriques ci-dessous indiquées, les chiffres transcrits dans le tableau suivant :

A 4 atmosphères	....	22,2 d'oxygène.
7 —	....	23,0
17 —	....	28,4
26 —	....	32,2

Ces chiffres moyens, lorsqu'on les fait intervenir dans le graphique IX (ligne ponctuée), coïncident avec lui pour les pressions de 4 et 7 atmosphères (points α et β) d'une manière remarquable. Mais, au-dessus de 10 atmosphères, ils en changent tout à fait la physionomie, comme le montre la ligne pleine du graphique IX ; quelle interprétation faut-il donner à ce relèvement ? C'est là une question à laquelle me permettront sans doute de répondre des expériences *in vitro* que je poursuis dans ce moment, et dans lesquelles j'agite du sang, en présence de l'air, sous des pressions allant jusqu'à 25 atmosphères. En employant en outre de l'air suroxygéné, j'arrive à des pressions d'oxygène qui correspondent à 100 atmosphères d'air ordinaire. Les résultats obtenus jusqu'ici m'indiquent assez nettement que la solubilité de l'oxygène aux pressions élevées suit la loi de Dalton.

RÉSUMÉ.

Ce qui vient d'être dit sur les modifications dans la composition des gaz du sang peut, en élaguant les considérations théoriques et les déductions pratiques, se résumer en peu de mots :

A. Quand la pression diminue, le sang s'appauvrit en oxygène et en acide carbonique ; la perte en oxygène suit de plus près la loi de Dalton que celle en CO^2 ; mais elles sont toutes deux inférieures à ce qu'exigerait cette loi.

La diminution de l'oxygène est exclusivement la conséquence de la tension diminuée de ce gaz dans l'air dilaté; on obtient une diminution tout à fait identique en faisant respirer aux animaux un air de moins en moins oxygéné, à la pression normale. Les graphiques sont très-concluants (voy. graphique VII).

Celle de l'acide carbonique reconnaît la même cause, c'est-à-dire la moindre tension de l'oxygène dans l'air respiré; la pression barométrique en elle-même ne paraît du moins avoir qu'une influence restreinte (même graphique).

B. Quand la pression augmente, le sang devient plus riche en oxygène, ce qui est dû exclusivement — comme le montrent les expériences comparatives faites à la pression normale avec de l'air suroxygéné — à la tension augmentée de ce gaz dans l'air comprimé. Cette augmentation dans la proportion de l'oxygène marche avec une grande lenteur, au moins jusqu'à 10 atmosphères, après quoi elle a paru suivre une marche plus rapide (graphique IX). Ce dernier point, du reste, a besoin d'être complété par des expériences *in vitro*.

L'acide carbonique n'est pas augmenté par la pression, mais diminué tout au contraire (graphique VIII).

L'azote augmente considérablement, mais moins rapidement que ne l'exigerait la loi de Dalton (graphique VIII).

Les conséquences à tirer de ces faits le seront en leur lieu; pour le moment, je n'en retiens qu'une, c'est que les modifications dans les gaz du sang (si nous en exceptons l'azote) sont exclusivement dues à la tension de l'oxygène ambiant, et nullement à la pression barométrique, les effets de celle-ci pouvant être obtenus ou combattus par de simples changements dans la richesse en oxygène de l'air respiré. Cette conclusion concorde tout à fait avec celle qui termine le premier chapitre.

CHAPITRE III.

PHÉNOMÈNES PRÉSENTÉS PAR LES ANIMAUX SOUMIS A L'INFLUENCE DE DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES.

Il ne s'agit ici, je me hâte de le dire, que des modifications de pression obtenues lentement et progressivement. L'influence des modifications brusques sera étudiée dans un prochain chapitre.

§ 1.

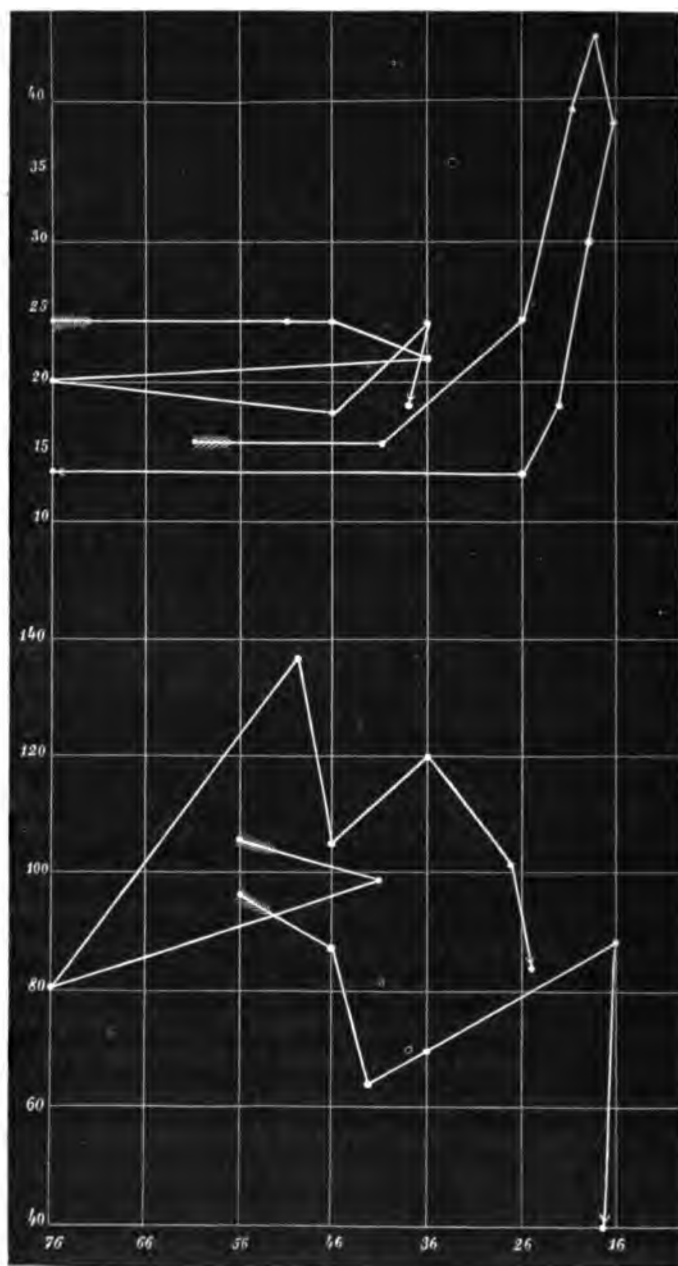
De la diminution de pression.

Les phénomènes présentés par les animaux soumis à la diminution de pression sont précisément ceux qui ont été signalés chez les voyageurs en montagnes et les aéronautes; j'ai cependant quelques détails intéressants à ajouter à ce qui est connu déjà. Cependant je ne fais nulle difficulté d'avouer que, ces phénomènes étant d'ordre purement descriptif, leur analyse exacte m'a paru ne devoir être faite qu'après une étude suffisamment approfondie de leur cause.

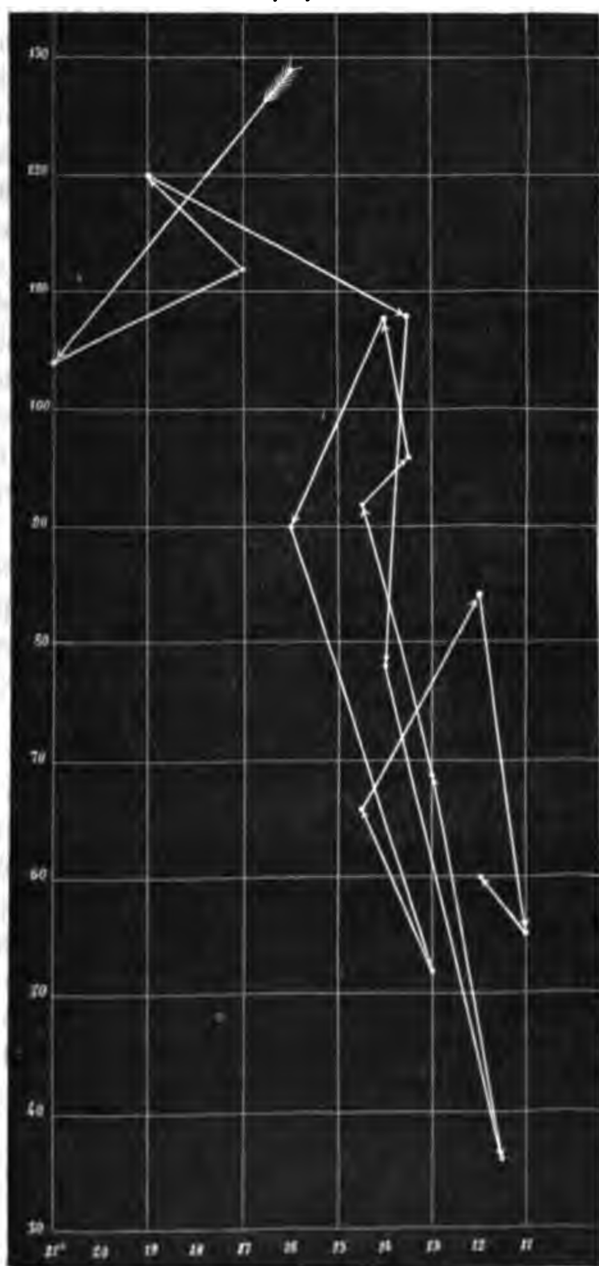
Respiration. — En thèse générale, la respiration s'accélère quand la pression diminue. Mais rien n'est plus irrégulier que ces modifications dans la rapidité respiratoire. Ici l'intervention de la *brusquerie* des phénomènes est de grande conséquence. L'animal s'étonne, s'agite, fait des efforts; il est gêné par les développements gazeux dont je parlerai à propos de la digestion, et tout cela accélère sa respiration. Mais on voit assez souvent la respiration se ralentir; c'est presque la règle aux pressions très-basses. Cela arrive surtout quand l'animal reste tranquille : l'agitation m'a paru toujours entraîner l'accélération.

J'ai, du reste, réuni dans les tracés des graphiques ci-contre (graphiques X et XI) des exemples assez variés de résultats obtenus avec diverses espèces d'animaux. Ils montrent la difficulté qu'on pourrait éprouver à tenter des généralisations. Dans ces tracés, les flèches indiquent la série des pressions diverses

Graphique X.



Graphique XI.



auxquelles a été successivement soumis l'animal, la pression étant marquée sur l'axe horizontal, les respirations sur l'axe vertical.

Dans le graphique X, les tracés inférieurs sont formés par deux Lapins, les supérieurs par deux Chiens. Le graphique XI indique les résultats d'une expérience faite sur un Cochon d'Inde, et qui a duré plus de trois heures. Ce dernier est particulièrement curieux ; il montre tous les rapports les plus variés entre la valeur de la pression et le nombre des mouvements respiratoires.

En outre du nombre, la respiration est affectée sous le rapport du rhythme ; elle devient irrégulière souvent, dicrote, plus ample quelquefois, et je l'ai vue, chez les Chiens, à de très-basses pressions, comme séparée en deux temps : inspiration thoracique, puis inspiration diaphragmatique. Chaque mouvement général du corps entraîne une sorte d'anhélation. Tout cela concorde avec ce que l'on a observé chez l'homme.

Circulation. — D'ordinaire les mouvements du cœur deviennent plus rapides quand la pression diminue (1). Cependant il y a également une grande irrégularité, même par rapport aux mouvements respiratoires, comme le montrent les graphiques ci-dessous. Je n'ai, du reste, fait qu'un petit nombre de ces observations difficiles.

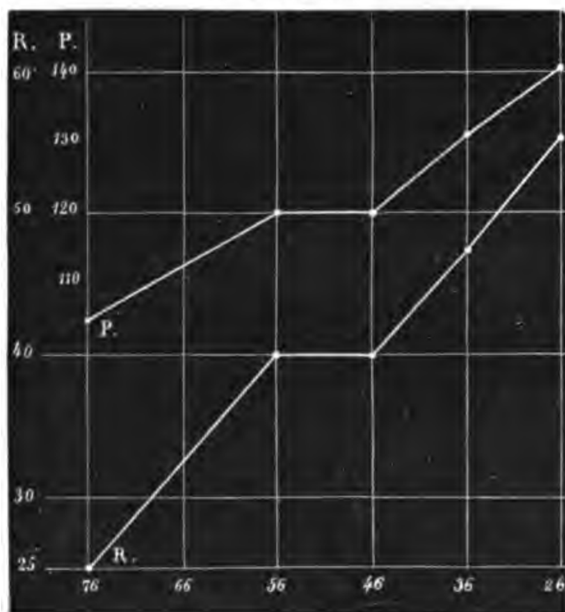
Dans les graphiques qui les résument, la direction des flèches indique la marche des pressions ; la lettre P désigne les pulsations, la lettre R les respirations. Le graphique XII a été fourni par un Chat, qui est mort à 20 centimètres de pression ; l'accélération du pouls marche d'accord avec celle de la respiration. Le graphique XIII vient d'un Chien, et donne des résultats analogues. Le graphique XIV, fourni par un autre Chien, présente, aux très-basses pressions, une évidente divergence. Dans ce dernier graphique, la rapidité des mouvements du cœur et des poumons n'augmente pas toujours, tant s'en faut, quand la pression diminue, et réciproquement.

(1) Sur moi-même, dans mon grand appareil, j'ai vu les battements du cœur passer de 60 à 67 au repos, quand la pression diminuait de 20 centimètres. Le moindre mouvement es aisait alors monter à 80.

J'en dirai autant de la pression cardiaque, qui s'abaisse assez notablement aux très-basses pressions.

Sous l'influence des pressions très-faibles et très-rapidement obtenues, j'ai vu quelquefois survenir des hémorrhagies nasales et pulmonaires. Mais c'est un accident fort rare chez les animaux ; il n'est, du reste, pas si commun qu'on le dit d'ordinaire chez les hommes.

Graphique XII.

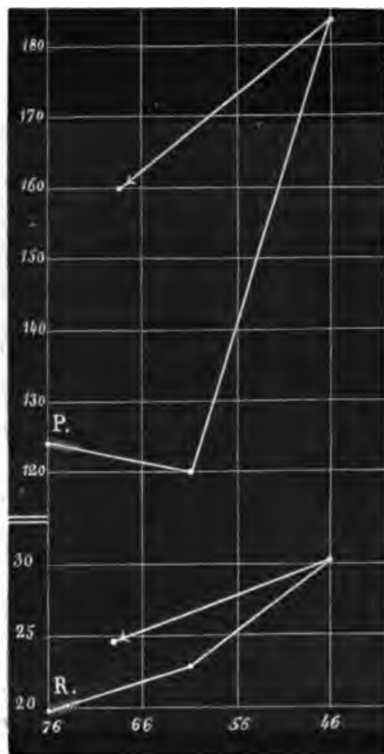


Température. — On a signalé, dans les ascensions en montagnes, l'abaissement de la température ; les uns l'ont attribué au froid ambiant, d'autres au travail consommé, et j'ai parlé à ce propos, dans le chapitre préliminaire, de la théorie de Lortet (page 5).

Mais j'ai pu constater maintes fois que la température des animaux décomprimés s'abaisse sans qu'ils produisent le moindre travail extérieur, sans que l'air soit refroidi, et sans qu'on puisse attribuer le phénomène au courant d'air qu'il faut établir autour d'eux pour éviter l'accumulation d'acide carbonique. Elle est

généralement de 2 ou 3 degrés pour une diminution de moitié ou deux tiers d'atmosphère en une demi-heure, par exemple. Mais cela dépend du degré de la décompression, de sa durée, et de l'espèce animale.

Graphique XIII.



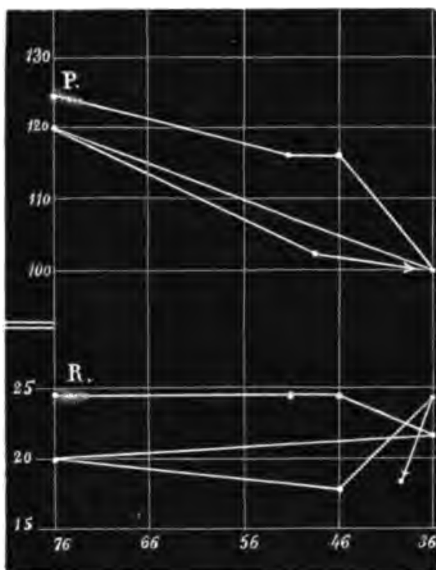
Ainsi, chez un Chien de grande taille, amené en deux heures à 25 centimètres de pression, la température avait baissé de 2 degrés.

Chez trois Lapins soumis, l'un à un courant d'air à la pression normale; le deuxième, à un courant sous la pression de 50 à 55 centimètres; le troisième, à un courant de 40 centimètres, le tout pendant quatre heures, la température était, pour le premier, de 39°,5; pour les deux autres, de 38 degrés. Les

Oiseaux présentent des phénomènes analogues, sur le détail desquels il serait inutile d'insister.

Mais c'est avec les Cochons d'Inde que j'ai pu obtenir les refroidissements les plus considérables. L'un d'eux, maintenu pendant une heure à 35 centimètres de pression, et pendant une

Graphique XVI.



heure encore à 25 et même 22 centimètres, n'avait plus, au sortir de la cloche, que 25 degrés de température rectale. Mais déjà, après quatre ou cinq minutes, celle-ci s'élevait à 31 degrés, et l'animal survécut. Le Cochon d'Inde dont les respirations ont fourni le graphique de la page 71, qui resta près de quatre heures à osciller entre 21 centimètres et 11 centimètres, n'avait plus que 20 degrés; il est vrai qu'il mourut dans la nuit après l'expérience.

Ainsi la dépression est par elle-même une cause de refroidissement.

Appareil digestif. — Vers un certain degré de décompression, les voyageurs ont éprouvé des nausées; j'ai vu également mes animaux tituber, hocher de la tête avec un malaise manifeste, et vomir. Les Oiseaux présentaient presque tous ce symptôme.

C'est là, comme on le sait depuis bien longtemps, un des phénomènes de l'asphyxie.

Les animaux soumis à de fortes dépressions, et surtout les herbivores, se gonflaient d'une manière très-remarquable, par la dilatation de leurs gaz intestinaux. Il m'a paru, dans quelques cas, que ce gonflement était assez fort pour agir même sur la respiration et en gêner les mouvements.

Mort. — Enfin, quand on continue à décomprimer, la mort survient, précédée d'une phase plus ou moins longue, pendant laquelle l'animal devient d'abord incapable de sauter et de marcher, puis de se tenir sur ses pattes; un peu après, il reste immobile, comme insensible.

Tantôt l'animal meurt sans aucun mouvement; tantôt il se relève et se roidit violemment avant d'expirer; tantôt enfin il a de véritables convulsions. Tout cela dépend de l'état d'épuisement dans lequel il est, du temps depuis lequel dure l'expérience, etc.

Mais il n'en est pas moins très-curieux de voir périr avec des convulsions un animal qui a perdu les deux tiers de l'acide carbonique de son sang. La théorie de M. Brown-Séquard sur la cause des convulsions est ici singulièrement en défaut. J'ajoute qu'on voit après la mort, et même dans les instants qui la précèdent, les intestins se tordre dans le ventre par de violents mouvements péristaltiques.

Enfin, la rigidité cadavérique survient très-vite. Tandis que chez un Moineau auquel on coupe la tête la rigidité cadavérique reste environ trois quarts d'heure avant de se manifester, elle survient entre dix et vingt minutes après la mort dans l'air raréfié.

L'autopsie ne montre guère de résultats bien intéressants. Lorsque la dépression a été très-forte et a duré très-longtemps, on ne trouve plus de sucre dans le foie. Le sang est noir partout, excepté dans les veines pulmonaires, où il absorbe de l'oxygène pendant qu'on rétablit la pression normale. Chez les Mammifères, les poumons sont parfois un peu emphysémateux; presque toujours ils sont ecchymosés par places, quelquefois, mais rare-

ment, avec hémorrhagie véritable ; dans d'autres cas, à la suite de décompressions soudaines et énormes, entraînant une mort presque instantanée, je les ai vus comme carnifiés, revenus à l'état fœtal, et allant par gros fragments au fond de l'eau. J'expliquerai plus loin ce phénomène étrange.

Limite inférieure de pression. — La valeur de la dépression à laquelle surviennent les divers accidents que je viens d'énumérer, celle de la limite inférieure incompatible avec la vie, varient suivant les espèces. Elles varient également suivant que les animaux sont restés calmes ou se sont agités pendant la durée de l'expérience.

Chez les Moineaux, le malaise commence généralement à se manifester aux environs d'une demi-atmosphère. L'animal commence à devenir inquiet; il cesse de sautiller, et ses respirations s'accélèrent, C'est vers 25 centimètres qu'il commence à vomir, à osciller sur ses pattes; bientôt il tombe, et si la dépression approche de la limite mortelle, il tourne sur lui-même et s'agite convulsivement. J'ai dit plus haut que cette limite était d'ordinaire de 17 à 18 centimètres.

J'ai dit également qu'il est possible, avec des précautions convenables, d'arriver jusqu'à près de 10 centimètres (page 25), limite qui concorde avec celle qu'indique le calcul pour la pression minima de l'oxygène. Il faut pour cela opérer avec une très-grande lenteur. En allant brusquement, au contraire, on peut voir les troubles survenir beaucoup plus tôt, et par exemple la mort arriver brusquement entre 25 et 30 centimètres. Il en est de même lorsque l'animal s'agite.

Inversement, il arrive souvent qu'un animal qui paraît fort mal à son aise, près de périr, sous une très-faible pression, se remet, se relève, et s'y accoutume fort bien.

Tous ces faits, qui compliquent la solution numérique du problème, sont parfaitement en rapport avec ce qu'indiquent les observations des voyageurs en montagnes, et avec ce qu'on sait des conditions de l'asphyxie.

Plus ménagées seront les transitions, plus facilement s'obtiendra l'accoutumance; plus grandes seront les dépenses d'oxygène,

plus vite se fera sentir l'effet de sa privation. Les voyageurs, comme les Oiseaux décomprimés, comme les animaux asphyxiés, d'une manière générale, souffrent d'autant plus qu'ils agissent davantage : les voyageurs, chacun le sait, sont forcés à certaines hauteurs de s'arrêter pour s'accoutumer, de se coucher pour diminuer la dépense d'oxygène. Les faits que j'indique sont parfaitement en concordance avec ceci.

Ajoutez que, d'après un certain nombre d'expériences dont un résumé succinct se trouve à la fin du tableau I (page 22), la résistance est notablement moindre quand la température est très-basse. C'est une considération importante, car les voyageurs, comme les aéronautes, sont le plus souvent exposés à cette condition déprimante. Or, rien de plus naturel, la consommation d'oxygène devant être augmentée par le froid, à peine d'un notable abaissement de la température du corps.

Si maintenant nous considérons la résistance moyenne présentée par les diverses espèces, nous trouvons que, chez les Oiseaux, les Rapaces paraissent tout aussi sensibles à la dépression que les Moineaux. Le fait est curieux, lorsqu'on pense aux hauteurs aériennes considérables qu'atteignent les grands Oiseaux de proie : on les a du reste beaucoup exagérées.

Parmi les Mammifères, les Chats paraissent avoir une susceptibilité au moins aussi grande encore que les Moineaux. Elle l'est certes plus que celle des Chiens, qu'il faut pousser à 10 ou 8 centimètres pour les tuer. Je me souviens du reste d'avoir lu (de Humboldt?) qu'à Quito, les Chats importés de la plaine meurent en peu de temps.

Les Cochons d'Inde et Lapins sont également faciles à amener à de basses pressions, et, leur température s'abaissant très-vite, ils passent, pour ainsi dire, à l'état d'animaux à sang froid.

C'est cet état dans lequel sont, par à peu près, les Chats nouveau-nés ; aussi peut-on les amener un peu plus bas que les adultes.

J'avais espéré, en soumettant à la décompression un animal hibernant, pouvoir l'amener aussi à des pressions très-faibles,

espérant qu'il hibernerait, pour ainsi dire; mais la seule expérience que j'aie faite avec un Hérisson a déçu mon attente. Il ne m'a pas été possible de dépasser 18 centimètres sans que la vie de l'animal semblât immédiatement menacée.

Je dois actuellement, pour compléter la démonstration déjà faite dans les deux précédents chapitres, comparer ces phénomènes généraux avec ceux que présente l'asphyxie.

Tout d'abord les modifications du rhythme respiratoire sont généralement du même ordre : accélération, puis ralentissement. Celles de la circulation sont beaucoup moins connues. Cependant les palpitations sont des phénomènes habituels au début de l'asphyxie. Mais chez les asphyxiés, comme chez les décomprimés, la marche de ces phénomènes n'est rien moins que régulière et constante. J'ai dressé des graphiques nombreux qui font preuve de cette assertion, mais que je ne crois pas très-utile de reproduire ici.

En se reportant aux intéressantes recherches de M. F. Leblanc, on voit que dans des mines où les pyrites ont absorbé une partie de l'oxygène de l'air pour se transformer en sulfates, sans formation concomitante de CO^2, on voit, dis-je, que la respiration peut se faire « d'une manière continue et sans trop de difficultés » dans de l'air contenant de 15 à 15,5 pour 100 d'oxygène; mais à 10 pour 100, l'air est asphyxiant, et M. Leblanc y a été pris soudain de défaillance, vertiges et nausées.

Or, 15 pour 100 d'oxygène correspondent à 57 centimètres de pression, c'est-à-dire à 2300 mètres de hauteur; et là aucun trouble important n'est à signaler dans les actes respiratoires; mais à 9,5 ou 10, c'est-à-dire à 35 centimètres de pression, les troubles respiratoires sont constants : ils ont arrêté M. Boussingault par 6200 mètres. Si M. Leblanc en a ressenti des effets si immédiatement violents, c'est évidemment parce qu'il s'y était soumis sans transition aucune, en moins d'une seconde; les aéronautes eux-mêmes n'arrivent jamais, tant s'en faut, à cette rapidité.

Chez les Chiens, dans l'air confiné, les troubles respiratoires

commencent à peu près à 12 pour 100 d'oxygène (valant 40 centimètres = 5000 mètres) ; c'est vers 8 pour 100 (= 30 centimètres = 7500 mètres) que se manifestent de véritables accidents, avec nausées, etc.

L'abaissement de la température est encore un fait constant chez les animaux asphyxiés. Elle a été de 2 à 4 degrés chez des Chiens que j'ai lentement asphyxiés en vases clos, avec élimination du CO^2 formé.

Les nausées sont également un accident de l'asphyxie ; de même aussi l'affaiblissement et l'impossibilité de se mouvoir ; de même, enfin, aux limites extrêmes, les altérations de la sensibilité, les pertes de connaissance. J'en dirai autant des ecchymoses pulmonaires plus ou moins étendues. Le parallèle se poursuit parfaitement. Il n'est pas jusqu'à ce fait, que j'ai autrefois signalé (1), à savoir, que les animaux nouveau-nés n'altèrent pas beaucoup plus l'air que les adultes, qui ne soit en concordance avec la manière dont ils se comportent dans l'air dilaté. Enfin, les Reptiles, les Insectes, supportent très-longtemps les plus faibles pressions, de même que l'exposition à un air très-pauvre en oxygène.

J'ajoute, en terminant, que les mouvements péristaltiques de l'intestin se remarquent dans l'asphyxie sans acide carbonique quelques moments avant la mort, comme il advient dan la mort par diminution de pression.

En résumé, la diminution de pression agit comme la privation d'oxygène. Pour les faibles dépressions, en l'absence d'efforts musculaires considérables, la moindre proportion de l'oxygène contenu dans le sang artériel est compensée, soit par un épuisement plus considérable de l'oxygène du sang veineux, soit par une accélération des mouvements respiratoires et circulatoires. Plus bas, lorsque l'animal s'agite, des troubles plus importants arrivent par suite des altérations nutritives des tissus en présence d'un sang trop peu hématosé. Les muscles se contractent

(1) Art. ASPHYXIE, *Dictionnaire de médecine et chirurgie pratiques*, 1865, p. 573.

faiblement, la respiration et le cœur se ralentissent; la température s'abaisse, la pression cardiaque diminue; l'acide carbonique, produit en moindre quantité, diminue dans le sang. Il ne me reste plus qu'à donner une mesure plus exacte des phénomènes, à examiner avec soin la quantité d'oxygène consommé et la quantité de CO^2 produit dans un temps donné, la composition chimique quantitative et qualitative de l'excrétion urinaire, le sucre du foie, etc. Ce sont là des problèmes que je poursuis, mais dont la solution exacte ne présente évidemment qu'un intérêt secondaire. Du reste, pour ce qui est de la quantité d'oxygène consommé et de CO^2 produit pendant un temps donné, soit à 76 centimètres, soit à une pression moindre, les chiffres du tableau I (page 22) nous permettent d'indiquer nettement le sens de la variation.

En effet, de la colonne 4 comparée à la colonne 3, nous pouvons dans chaque expérience conclure la quantité d'air, rapportée à 76 centimètres de pression, que chaque animal avait à sa disposition. Des colonnes 6 et 7 nous déduisons aisément la quantité d'oxygène absorbé et la quantité de CO^2 produit pendant le temps marqué dans la colonne 5, et par suite pendant l'unité de temps. Or, nous voyons ainsi que les Moineaux ont en une heure :

A 76c (exp. 1, 2, 3), consommé environ	145cc d'oxygène	et produit 122cc de CO^2.
50c (exp. 5, 6, 7, 8)	118	97
30c (exp. 13, 14, 17).............	80	65
24c (exp. 24, 25, 26, 27)..........	70	57

Ainsi, en vases clos, et en allant jusqu'à la mort, un animal absorbe d'autant moins d'oxygène et forme d'autant moins de CO^2 dans un temps donné, que la pression est moindre. Il est plus que probable que les phénomènes marchent dans le même sens dans l'air renouvelé. Tout le reste des accidents de la dépression asphyxique se déduit aisément de cette diminution dans l'activité des phénomènes de l'oxydation nutritive.

§ 2.

De l'augmentation de pression.

Les phénomènes présentés par les animaux placés dans l'air comprimé, renouvelé, sans intervention de l'acide carbonique, n'ont rien de bien manifeste jusqu'aux pressions de 7 et 8 atmosphères. Cependant la respiration se ralentit d'une manière constante, et très-vraisemblablement aussi la circulation.

Ainsi, chez un Moineau, le nombre des mouvements respiratoires à la pression normale était de 144 par minute; à 3 atmosphères, il s'est abaissé à 132; à 6 atmosphères, à 130; à 9 atmosphères, à 120.

On sait que les animaux placés dans l'air suroxygéné, à la pression normale, présentent le même ralentissement, et que même, si la transition est très-brusque, il y a suppression momentanée de la respiration, *apnée*.

Chez l'Homme, les variations des mouvements circulatoires et respiratoires dans l'air comprimé ont été l'objet d'observations nombreuses de la part des médecins. Les résultats auxquels ils sont arrivés sont assez contradictoires, ce qui tient sans doute en partie à ce qu'ils n'ont pas distingué les effets des compressions faibles (de 1 à 2 atmosphères) d'avec ceux des fortes compressions (2 à 5 atmosphères). Le phénomène le plus curieux qui ait été constaté, l'augmentation de la capacité des poumons, a été relaté plus haut (page 18), ainsi que les explications théoriques erronées que les auteurs en ont données.

Il ne me paraît pas utile d'insister dans le présent mémoire sur ces manifestations indirectes des modifications que l'augmentation de pression apporte dans l'équilibre organique. La cause intime est bien autrement intéressante à poursuivre; or, elle me semble se trouver dans le fait inattendu que j'ai signalé dans le premier chapitre (voy. page 45), à savoir, que l'air comprimé, ou, pour parler plus exactement, que l'oxygène à pression élevée exerce sur les organes une action qui peut devenir redoutable,

mortelle même. Pour l'étudier, j'ai dû, comme on fait en toxicologie, forcer les faits, agir à hautes doses.

Or, le phénomène qui frappe le plus à ces hautes pressions, ce sont les convulsions. Elles surviennent, chez les Moineaux, dans l'air ordinaire aux environs de 20 atmosphères ou dans les atmosphères d'oxygène presque pur, vers 4 atmosphères, lorsque, en un mot, la tension de l'oxygène, $O \times P$, arrive à valoir 350. A 450, elles sont très-énergiques et rapidement mortelles.

Je ne saurais mieux faire que de reproduire ici la note que j'ai eu l'honneur de présenter, à ce propos, le 17 février 1873, à l'Académie des sciences (1) :

« A 22 atmosphères d'air, disais-je, les convulsions surviennent au bout de quatre à cinq minutes : l'Oiseau secoue la tête et les pattes comme s'il marchait sur des charbons ardents ; bientôt il entr'ouvre les ailes, les agite vivement, et, tombant sur le dos, il tourne rapidement dans le récipient, battant avec violence l'air de ses ailes, les pattes contractées sous le ventre. Ces phénomènes durent pendant quelques minutes, puis se calment, pour reparaître par crises de plus en plus fréquentes et de moins en moins fortes, jusqu'à la mort ou la guérison. Aux très-hautes pressions, la mort survient dès la première crise.

» Ces accidents remarquables continuent à se manifester après que l'Oiseau, soustrait à l'influence de l'oxygène, a été ramené à l'air libre sous la pression normale ; ils peuvent même alors se terminer par la mort.

» Le fait principal étant constaté, il reste à chercher dans le sang la dose toxique de l'oxygène, et à déterminer avec soin les phénomènes et le mécanisme de cet étrange empoisonnement.

» *Dose toxique.* — Un certain nombre d'expériences faites sur les Chiens m'ont permis de fixer à 350 environ la pression extérieure de l'oxygène sous laquelle surviennent les convulsions ; la mort arrive vers la pression de 500. Comme je ne possédais pas une quantité d'oxygène suffisante pour charger à 5 ou 6 atmosphères mon appareil, qui contient près de 400 litres, je

(1) Voyez *Comptes rendus*, t. LXXVI, p. 443.

plaçais une canule dans la trachée du Chien en expérience, je mettais cette canule en communication avec un sac de caoutchouc plein d'oxygène, et j'exerçais la pression sur l'animal et le sac à la fois.

» J'ai pu, pendant que l'animal était ainsi sous pression, tirer du sang artériel et en extraire les gaz. J'ai vu ainsi que les accidents convulsifs débutent lorsque ce sang, qui contient d'ordinaire 18 à 20 centimètres cubes d'oxygène par 100 centimètres cubes de liquide, arrive, grâce à la pression, à en contenir de 28 à 30 centimètres cubes; la mort survient vers 35 centimètres cubes. Il y a, du reste, sous ce rapport, quelques différences quand on passe d'un animal à un autre.

» Mais il n'en est pas moins vrai que la dose toxique, mortelle, de l'oxygène dans le sang, est moins de deux fois plus considérable que la dose normale. Or, il n'est pas de poison dont nous pourrions avoir impunément dans le sang la moitié de la dose mortelle. Donc, si étrange que paraisse cette assertion, l'oxygène est un poison plus redoutable qu'aucun autre connu.

» *Phénomènes de l'empoisonnement.* — Ils sont, lorsqu'on les observe chez un Chien, des plus curieux et des plus effrayants.

» Prenons, par exemple, un animal chez qui la proportion d'oxygène aura, pour 100 centimètres cubes de sang artériel, atteint 32 centimètres cubes. Lorsqu'on le retire de l'appareil, il est généralement en pleine convulsion tonique; les quatre pattes sont roidies, le tronc est recourbé en arrière et un peu sur le côté; les yeux sont saillants, la pupille dilatée (1), les mâchoires serrées. Bientôt survient une sorte de relâchement auquel succède une nouvelle crise de roideurs avec convulsions cloniques ressemblant à la fois à une crise strychnique et à une attaque de tétanos. Ces crises, pendant les intervalles desquelles le Chien ne se relâche pas complétement, mais reste en opisthotonos, suspendent la respiration, le cœur continuant toujours à battre, quoique souvent avec une étonnante lenteur; la pression artérielle s'abaisse considérablement. La sensibilité reste conservée,

(1) L'examen ophthalmoscopique montre une forte injection du fond de l'œil.

et il semble même qu'on puisse, en la mettant en jeu, exciter de nouvelles convulsions (1). Dans les cas moyens, ces périodes convulsives, qui apparaissaient d'abord toutes les cinq ou six minutes, deviennent plus rares, puis moins violentes; la roideur diminue dans les intervalles, et finalement tout disparaît au bout de cinq, dix, ou même, comme je l'ai vu une fois, au bout de vingt heures.

» Dans les cas plus légers, au lieu d'attaques tellement violentes qu'on peut soulever l'animal par une seule patte, roide comme un morceau de bois, on observe des mouvements désordonnés, des convulsions locales, des phénomènes, en un mot, qui ressemblent beaucoup à ceux de l'empoisonnement par l'acide phénique. On voit parfois alors des actes qui semblent indiquer un certain désordre intellectuel. Dans les cas très-graves, au contraire, c'est-à-dire quand la proportion d'oxygène a atteint 35 centimètres cubes pour 100 de sang artériel, la roideur est continuelle, avec quelques redoublements cloniques de temps à autre; les dents grincent et se serrent jusqu'à paraître près de se briser, et la mort peut survenir après une ou deux crises, dans le laps de quelques minutes. Le sang artériel noircit alors comme du sang d'asphyxié, et lorsque l'animal ne fait plus aucun mouvement, le cœur continue à battre encore pendant quelques minutes.

» *Mécanisme de l'empoisonnement.* — La vue seule des symptômes semble indiquer que l'action toxique produit son effet sur les centres nerveux, comme le font la strychnine, l'acide phénique et autres poisons convulsivants. Cette présomption est corroborée par ce fait que les inhalations de chloroforme arrêtent momentanément les convulsions, qui reparaissent quand a disparu l'anesthésie. Enfin le membre postérieur dont on a coupé le nerf sciatique ne présente pas de convulsions dans les muscles animés par ce nerf.

» Il est fort intéressant de voir que les accidents convulsifs

(1) Je me suis assuré, depuis la publication de cette note, que les convulsions sont certainement provocables par les excitations extérieures, comme celles de la strychnine,

continuent alors que le sang, après le retour de l'animal à l'air libre, ne contient plus que la quantité normale d'oxygène. Serait-ce donc que, sous l'influence de l'oxygène, il se formerait dans le sang une matière toxique capable d'altérer les fonctions des éléments anatomiques nerveux ? J'ai peine à le croire ; car, ayant injecté dans les veines d'un Chien sain une forte quantité de sang pris sur un Chien en pleines convulsions d'oxygène, le premier n'a ressenti aucun accident toxique (1). Disons, en passant, que les globules sanguins, examinés, n'ont rien présenté de particulier dans leurs formes ou leurs dimensions.

» Le dernier organe qui cesse d'agir est le cœur. Les nerfs moteurs et les muscles conservent leurs propriétés pendant un temps normal après la mort. Les animaux morts en convulsions deviennent flasques, et la rigidité cadavérique ne se montre pas extrêmement vite.

» En pénétrant un peu plus dans l'intimité du phénomène, nous voyons que la température de l'animal baisse parfois de 2 à 3 degrés dès le début des accidents convulsifs ; elle se relève au bout de quelques heures, quand l'animal doit survivre. L'oxygénation exagérée n'est donc pas, comme on pourrait le penser, l'occasion d'une combustion plus énergique, et par suite d'une température plus élevée. Au contraire, le travail comburant intra-organique paraît en être diminué.

» Je me borne aujourd'hui à tirer des faits ci-dessus rapportés les conclusions suivantes :

» 1° L'oxygène se comporte comme un poison rapidement mortel, lorsque sa quantité dans le sang artériel s'élève à environ 35 centimètres cubes par 100 centimètres cubes de liquide.

» 2° L'empoisonnement est caractérisé par des convulsions qui représentent, suivant l'intensité des accidents, les divers

(1) Je puis être aujourd'hui plus affirmatif. J'ai, en effet, injecté à des Chiens rendus préalablement exsangues des quantités considérables (un dix-neuvième du poids de leur corps) de sang qui venait d'être chargé d'oxygène à la dose ordinairement mortelle ; ces animaux n'ont éprouvé de cette injection que les effets bienfaisants ordinaires. Donc aucune matière toxique ne s'était formée dans le sang, et les propriétés physiologiques des globules n'avaient point été altérées.

types du tétanos, de la strychnine, de l'acide phénique, de l'épilepsie, etc.

» 3° Ces accidents, que calme le chloroforme, sont dus à une exagération du pouvoir excito-moteur de la moelle épinière.

» 4° Ils s'accompagnent d'une diminution considérable et constante de la température interne. »

Je puis ajouter à cette note un certain nombre de faits intéressants. Je dirai d'abord que si, pour obtenir les convulsions et la mort assez rapidement, il faut, chez les Chiens, pousser la tension de l'oxygène à 350 (valant 17 atmosphères d'air), je les ai vues survenir, et se terminer par la mort, au bout de sept heures, à 10 atmosphères d'air, la tension n'étant par conséquent que de 210. Ainsi la dose mortelle est, avec un séjour suffisamment prolongé, beaucoup moins élevée que je ne l'avais cru d'abord : observation bien importante pour l'hygiène des ouvriers soumis à l'air comprimé.

Mais le fait curieux, inattendu, c'est l'action toxique (je suis bien obligé de l'appeler ainsi, bien que cette expression me choque) de l'oxygène à trop haute dose. Fait non moins inattendu, il agirait en diminuant les combustions intra-organiques, celles du moins d'où résulte la chaleur. Pour celles-ci, le fait est constant, vu la chute énorme et rapide de la température ; j'ai tenté de serrer de plus près cet apparent paradoxe.

Tout d'abord j'ai cherché si la proportion du sucre contenu dans le sang artériel serait plus forte ou moins forte avant l'expérience que pendant les convulsions. Mes expériences me conduisent à penser que le sucre est en proportion plus forte pendant la phase convulsive ; cela résulte d'analyses faites comparativement avec d'excellentes liqueurs bien titrées. Mais j'avoue que ces analyses comparatives sont délicates, difficiles, et que les conclusions à en tirer me paraissent un peu aventurées (1).

J'ai alors employé une méthode toute différente : je fais respirer pendant quinze minutes l'animal dans un grand sac de caout-

(1) J'ai trouvé dans un cas, où les accidents convulsifs se sont terminés par la mort, une grande proportion de sucre dans l'urine.

chouc plein d'un certain volume d'air, et je détermine la quantité d'oxygène consommé et de CO_2 formé pendant ce temps. Puis je place le Chien dans la machine à compression, et lui donne les convulsions de l'air comprimé, mais non à un degré menaçant pour sa vie. Je le retire alors, et, après l'avoir laissé respirer à l'air libre pendant dix à quinze minutes, je le fais à nouveau respirer dans un autre sac de caoutchouc plein de la même quantité d'air que le premier, et ce, pendant le même temps. Je puis alors comparer les deux résultats, et en tirer quelques indications. Or, voici deux exemples :

	I.	II.
Ox. consommé avant	489^{cc}	395^{cc}
Ox. consommé après	298	215
CO^2 formé avant	299	241
CO^2 formé après	188	199

La température des animaux était tombée : pour le premier, de 39°,8 à 38 ; pour le deuxième, de 39 degrés à 37; ils avaient eu des convulsions médiocres, mais étaient restés calmes pendant la respiration dans le sac : ils ont survécu.

Il est donc bien évident que chez ces Chiens l'absorption d'oxygène, la production de CO_2, avaient été enrayées par l'action trop violente d'un excès d'oxygène.

Cela est tout à fait en rapport avec ce que nous avons dit de la moindre proportion de l'acide carbonique dans le sang artériel des animaux sous pression (voy. page 64). Par malheur, je n'ai pas à ma disposition des quantités d'oxygène suffisantes pour me permettre d'analyser les gaz du sang de Chiens placés sous pression dans un courant d'oxygène pur, et je n'ai jamais pu, dans mon appareil à compression, relativement étroit, placer convenablement un flacon à potasse sur le trajet du sac d'oxygène à la trachée ; en telle sorte que je trouvais toujours dans le sang des quantités exagérées d'acide carbonique.

Mais j'ai tourné la difficulté en analysant le sang artériel quelque temps après que l'animal était sorti de l'appareil. J'ai vu alors que l'acide carbonique, d'abord en excès dans son sang à cause de la respiration dans le sac clos, s'épuisait rapidement,

et que sa proportion arrivait à un chiffre singulièrement bas. Voici quelques exemples :

	Ox.	CO^2.
A. Le sang contenait, avant l'expérience......	15,3	43,5
A 7 atmosphères d'air suroxygéné (*sac clos*).	25,6	72,2
40 minutes après la décompression	16,8	17,7
70 id. id.	16,8	30,3
(L'animal meurt.)		
B. Avant l'expérience....................	15,0	35,1
7 atmosphères d'air suroxygéné (*sac clos*)..	34,6	78,5
27 minutes après la décompression........	18,0	22,4
67 id. id.	18,1	33,6
(L'animal survit.)		
C. Avant l'expérience....................	16,5	45,9
30 minutes après la décompression........	14,7	11,1
1 h. un quart id.	19,2	18,6
Survit.		

Ce dernier exemple est tout à fait remarquable ; je n'ai jamais obtenu une aussi faible proportion d'acide carbonique. J'ajoute que l'animal respirait par les voies naturelles et non par la trachée ouverte, ce qui peut, comme je l'ai déjà dit, beaucoup modifier les résultats. (Voy. plus haut, page 47.)

Les animaux dont l'exemple vient d'être cité avaient eu des convulsions dans l'appareil et dehors, mais ils n'en avaient plus lorsqu'on prit le sang pour en extraire les gaz. Voici, au contraire, les résultats fournis par un Chien dont on prit le sang en pleine convulsion.

	Ox.	CO^2.
Avant l'expérience, respiration par les voies normales.	15,9	42,9
Id., respiration par la trachée....................	21,3	25,8
A 6 3/4 atmosphères d'un air suroxygéné (*en sac clos*).	36,3	97
Pendant les convulsions (*à l'air libre*)..............	20	15,6

Tout tend donc à démontrer que sous l'influence d'une oxygénation trop forte, les oxydations intimes diminuent et que la production d'acide carbonique en fait autant ; d'où résulte l'abaissement énorme de la température.

Ce premier point étant à peu près complétement établi, j'ai porté mon attention sur la question du mécanisme, de la cause prochaine de la mort. Le trouble des modifications chimiques nutritives, l'excitation exagérée du système nerveux central sont des phénomènes consécutifs à l'introduction dans le sang d'un excès d'oxygène; mais on peut ici faire trois hypothèses principales. Ou bien c'est la trop grande quantité d'oxygène, absolument parlant, répandue dans tout l'organisme, qui modifie en tous lieux les processus chimiques de tous les éléments anatomiques ; ou bien les phénomènes de dépression dans les combustions sont la conséquence d'une action portée directement sur le système nerveux; ou, enfin, c'est l'existence, à un moment donné, dans la masse même du sang, d'une trop grande quantité d'oxygène, qui empêcherait les échanges nutritifs entre le sang et les tissus, d'où les phénomènes convulsifs et la mort.

Cette dernière hypothèse a été écartée facilement ; il m'a suffi pour cela de soumettre à l'influence de l'oxygène comprimé des Chiens saignés presque à blanc. Je les ai vus alors pris par les convulsions avec la pression oxygénée extérieure accoutumée; ils m'ont même paru périr plus rapidement que les animaux sains. Or, certainement, ils n'avaient pas dans un volume donné de leur sang, devenu par la saignée bien pauvre en globules, la proportion ordinairement mortelle de l'oxygène, c'est-à-dire d'environ 35 volumes pour 100 volumes de sang; encore bien moins en avaient-ils, dans la masse totale du sang, la quantité qu'en aurait eue un Chien non saigné et suroxygéné, puisque je leur en avais ôté les trois quarts. Malheureusement, l'analyse directe des gaz de ce liquide m'a paru impossible; je n'ai pu, vu la faiblesse des contractions cardiaques, extraire le sang, sous pression, de ces animaux saignés à blanc.

Ce n'est donc pas la masse totale d'oxygène existante dans le sang à un moment donné qui occasionne les convulsions; celles-ci, du reste, nous l'avons déjà vu, persistent bien après que l'excès d'oxygène est parti du sang. Restent les deux autres hypothèses, entre lesquelles des expériences en cours d'exécution me permettront bientôt de prendre un parti.

Il reste établi, par les expériences qui précèdent, que l'augmentation d'oxygène dans le sang, au-dessus de la proportion habituelle, devient rapidement défavorable, redoutable, mortelle; mais rien ne prouve qu'il n'y ait pas, au début, un certain avantage à augmenter faiblement cette proportion, et c'est ce que semblent indiquer ou, pour mieux dire, ce qu'indiquent clairement les applications médicales de l'air comprimé. Je reviendrai sur ce point dans un autre chapitre, ainsi que sur les considérations pratiques qui peuvent en découler et s'appliquer à l'hygiène des ouvriers travaillant sous pression. C'est évidemment à l'action prolongée de l'oxygène en excès qu'il faut attribuer les accidents auxquels ils sont en proie à la longue; je laisse de côté, à cause d'un mécanisme tout différent, les accidents subits qui les frappent au moment de la décompression : il en sera question dans un chapitre à part.

J'ai fait, sur les animaux inférieurs placés sous pression d'oxygène, un certain nombre d'expériences, dont je vais rendre compte ici brièvement.

Les Grenouilles, les Lézards, les animaux invertébrés, paraissent être tués par la même valeur de tension oxygénée; seulement ils le sont plus ou moins rapidement.

Les Reptiles présentent les mêmes convulsions que les animaux à sang chaud. On voit leur respiration se ralentir dans l'oxygène comprimé; leur cœur se ralentir également, mais continuer à battre après la mort, après la cessation des mouvements réflexes. Les Articulés, les Vers de terre et les Limaçons que j'ai mis en expérience ne m'ont pas paru atteints de convulsions, ce qui ne les sauve pas de la mort.

Les animaux qui, les premiers, dans des expériences simultanées, ont éprouvé les effets funestes de l'oxygène, ont été les Mouches; après elles, les Abeilles, les Papillons, puis les Libellules, les Punaises, notablement plus loin les Fourmis et les Coléoptères (Longicornes, Carabiques). Les Cloportes, et surtout les Arachnides (Araignées, Acariens) et les Myriapodes (Scolo-

pendres, Géophiles), résistent bien davantage; enfin viennent les Vers de terre et les Limaçons.

Le grand intérêt de cet ordre de recherches est de montrer que la mort par l'excès d'oxygène ne tient pas à un mécanisme particulier aux animaux à globules rouges, mais est un fait général.

J'ai cherché à voir ce qu'il adviendrait pour les animaux aquatiques, et j'ai fait expérience avec des Anguilles de la *montée*, poissons transparents dont on voit battre le cœur. A 10 atmosphères d'air, je les ai conservées en vie pendant trois jours, sans autre trouble qu'un abaissement du nombre des pulsations, et une telle diminution de la respiration, qu'on voyait à peine remuer leur bouche.

A 5 1/2 atmosphères d'air suroxygéné (valant en tension 15 atmosphères d'air), les pulsations étaient tombées en vingt-quatre heures de 40 à 20, et les respirations, très-faibles, de 78 à 20; il y eut des convulsions, les animaux se tordant en huit, et la mort survint en moins de quarante heures. Enfin, à 11 atmosphères suroxygénées, correspondant à 26 atmosphères d'air, la mort a eu lieu en moins de vingt heures.

Ce fait montre que, bien évidemment, l'eau des profondeurs de la mer ne doit pas être plus riche en oxygène que celle de la surface, sans quoi les Poissons y périraient bientôt. Si bien que, si une source d'air venait à sourdre au fond de l'Océan par 100 mètres seulement de profondeur, la colonne verticale qu'elle traverserait, et où elle saturerait l'eau d'oxygène sous pression, serait absolument inhabitable pour les animaux. Nous verrons plus loin que l'eau ne peut pas davantage être plus riche en azote dans les profondeurs qu'à la surface.

L'oxygène, à trop haute dose, est donc un agent mortel pour toutes les espèces animales.

CHAPITRE IV.

DE L'EMPOISONNEMENT PAR L'ACIDE CARBONIQUE. — DE L'ASPHYXIE DANS L'AIR EN VASES CLOS.

Nous avons vu que : 1° en vases clos, dans l'air, à des pressions variant de 2 à 8 atmosphères ; 2° à la pression normale ou à des pressions inférieures, dans de l'air suroxygéné, la mort arrive par suite d'empoisonnement dû à l'acide carbonique formé par l'animal. Nous en avons déterminé la dose (en tant que tension extérieure) mortelle pour les Moineaux (de 24 à 26). Pour les Chiens, des expériences faites, soit dans l'air comprimé, soit dans l'oxygène à la pression normale, m'ont donné une tension qui varie de 35 à 45 ; pour les Rats, elle va de 28 à 30.

Je devais étudier d'un peu près, au point de vue des doses et des phénomènes toxiques, cette question, qui rentre dans mon sujet, et qui me paraissait destinée à élucider quelques points intéressants.

Comme il devait s'agir de faire l'analyse des gaz du sang, j'ai dû mettre en expérience des Chiens ; mais alors il m'a fallu, comme conséquence, mon appareil à compression étant trop vaste et ne permettant pas une fermeture complétement hermétique, ne pas employer l'air comprimé, mais bien l'air suroxygéné. Je forçais l'animal à respirer dans un sac contenant de 50 à 60 litres de cet air, et je pouvais aisément, jusqu'à la mort, examiner, aux différents moments de l'expérience, les phénomènes présentés par l'animal, la composition des gaz du sang et celle de l'air contenu dans le sac.

Le tableau ci-après donne les détails principaux d'une de mes expériences.

Il s'agit d'un Chien du poids de 16 kilogr. qui fut contraint à respirer, par un tube trachéal, dans un sac contenant environ 60 litres d'air à 80 pour 100 d'oxygène. Il vécut ainsi 5 heures 40 minutes. La température extérieure était de 13 degrés.

	Au début.	Après 1 heure.	Après 2 heures.	Après 3 heures.	Après 4 heures.	Après 5 heures.	Mort à 5 h. 45 m.
Oxygène du sac, pour 100....	82,0	66,2	51,7	42,5	37,8	34	31,8
CO^2...........	0	15,5	29,7	37,3	41,0	44	45,7
Oxygène du sang artériel......	22,2	21,8	21,9	22,2	24,5	17	10,2
CO^2...........	44,8	66,0	83,0	94,5	100,0	106	119,0
Température rectale.........	37,8°	36,0°	32,5°	31,0°	29,5°	28°	27,0°
Respirations.....	»	44,0	39,0	29,0	20,0	8	»
Pulsations......	»	100,0	89,0	60,0	48,0	28	»
Pressᵉ. du cœur.	.....	13 à 16ᶜ	14 à 16ᶜ	.....	11 à 15ᶜ	8 à 10ᶜ	

J'ai exprimé ces résultats sous forme de graphiques, dont la lecture est bien plus aisée.

Les tracés du graphique XV représentent les altérations de l'air du sac et les changements dans la température de l'animal; ceux du graphique XVI, les modifications dans la composition des gaz du sang, dans les rhythmes respiratoire et circulatoire.

Dans ces deux graphiques, les temps sont portés sur l'axe des abscisses; la quantité d'Ox. ou de CO^2 contenus, soit dans le sang, soit dans l'air du sac, le nombre des mouvements de la respiration et des battements du cœur, les degrés de température correspondent aux chiffres marqués sur l'axe des ordonnées.

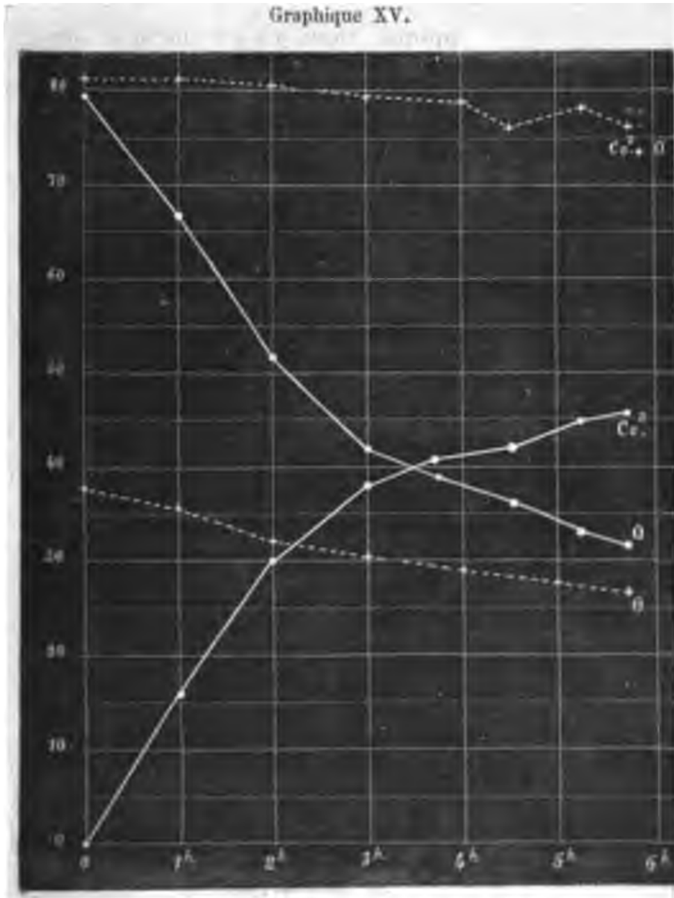
Le graphique XVII représente les modifications dans la richesse en acide carbonique du sang, comparées aux proportions de ce même gaz contenu dans l'air respiré, celles-ci étant portées sur l'axe des abscisses. Il exprime par conséquent les conditions de l'équilibre variable entre la tension de l'acide carbonique du sang et celui de l'air respiré.

Enfin, sur le graphique XVIII, les divers phénomènes présentés par la respiration, la circulation, la température de l'animal, sont disposés en regard de la richesse du sang en CO^2, laquelle constitue l'axe des abscisses; le manque d'espace a forcé de donner aux ordonnées des pulsations une hauteur moitié moindre qu'à celles des respirations et de la température.

Je dois faire observer tout d'abord que l'animal en expérience, lorsque sa trachée fut ouverte, fut pris d'une accélération respiratoire extraordinaire, qui, au bout de quelques minutes, le fit tomber en état d'*apnée*. Il commençait à revenir

à lui, lorsque je lui fis respirer l'oxygène : nouvelle apnée. Puis, agitation assez violente, pendant laquelle furent constatés, pour la respiration, le chiffre 21, pour les pulsations, celui de 150. J'ai porté ces chiffres aux tracés du graphique XVIII,

Graphique XV.



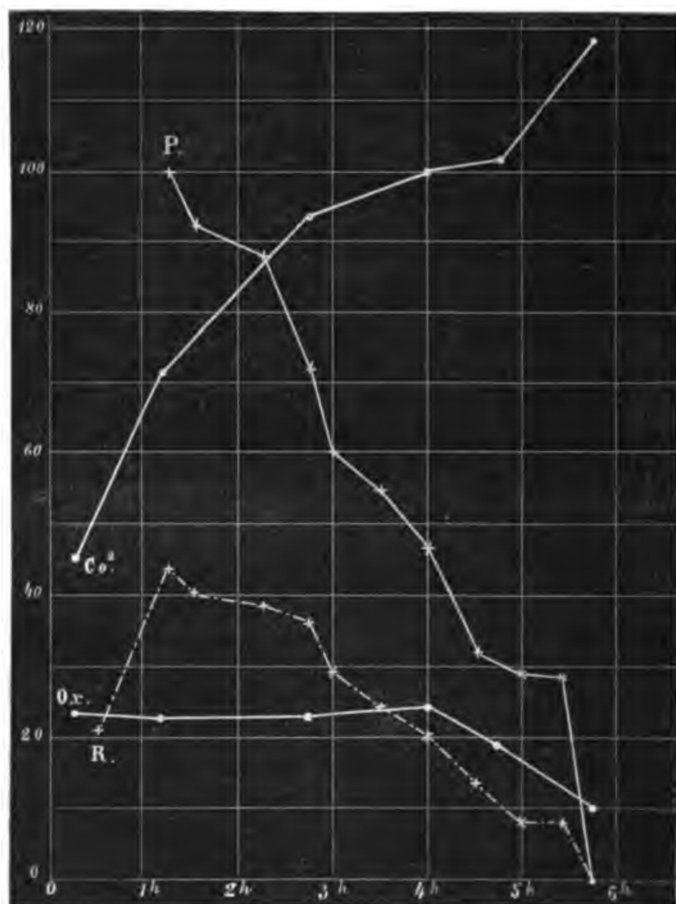
à cause de la marche inverse qu'ils leur impriment à leur début; mais l'influence de l'acide carbonique ne commence évidemment à se dégager des autres qu'au second point marqué sur ces tracés respiratoire et circulatoire.

Examinons maintenant les tracés.

Tout d'abord nous voyons (graphique XVI, tracé Ox.) que a proportion d'oxygène contenu dans le sang s'est maintenue

pendant toute l'expérience à une valeur au-dessus de la moyenne, et qu'à la mort même elle était encore de 10 pour 100. Il n'y a donc eu, de ce côté, aucune influence mauvaise.

Graphique XVI.

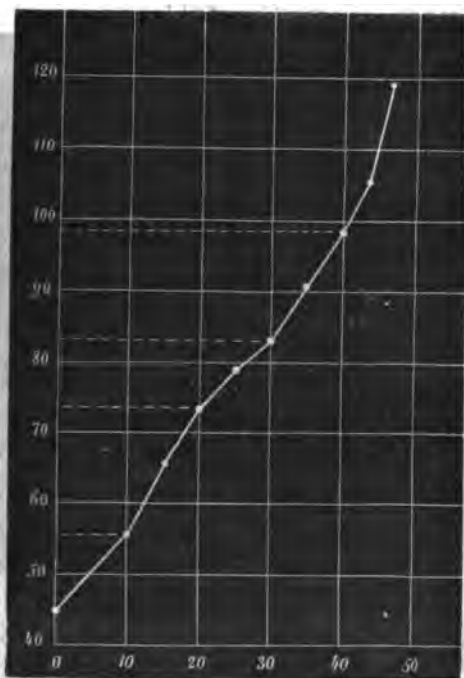


La température (graphique XV, tracé θ) s'est abaissée considérablement : de 37°,6 à 27 degrés ; notons que l'animal respirait dans un sac, où cependant l'air a dû bientôt s'échauffer assez notablement.

D'un autre côté, l'absorption d'oxygène (graphique XV, tracé Ox. : la valeur de cette absorption s'obtient aisément en pro-

jetant les différents points du tracé sur l'axe des ordonnées) a été aussi considérable dans la deuxième heure que dans la première, et encore très-notable dans la troisième; cependant, malgré cette fixation d'oxygène, la température s'est abaissée. Plus tard la consommation d'oxygène a notablement diminué.

Graphique XVII.

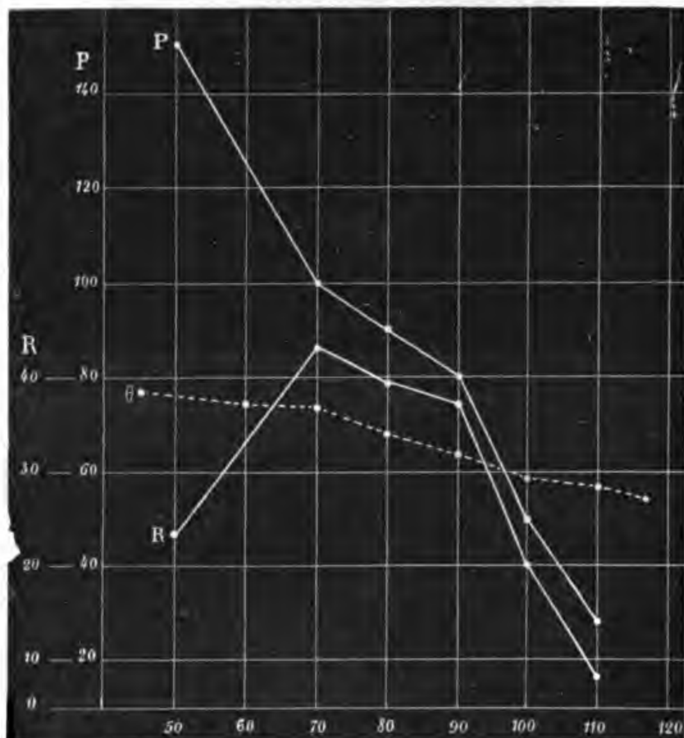


L'acide carbonique du sang (graphique XVI, tracé CO^2) augmente énormément : de 44 volumes pour 100 de sang artériel, il monte à 119. Il augmente de moins en moins rapidement par rapport au temps, excepté dans la dernière demi-heure, où, bien évidemment, une partie provient de la transformation directe de l'oxygène du sang, qui lui-même diminue soudain. Le graphique XVII montre qu'il a augmenté à peu près de quantités égales pour des augmentations égales dans la proportion du même gaz contenue dans l'air extérieur : la partie surajoutée à ce qui existait déjà a donc suivi à peu près la loi de Dalton.

Les respirations, les pulsations diminuent rapidement de nombre; la pression cardiaque s'est maintenue à un chiffre élevé jusqu'aux environs de la fin de l'expérience.

Voilà ce que disent les graphiques. Il convient d'y ajouter quelques faits relatifs tant à la présente expérience qu'à toutes celles que j'ai faites sur d'autres animaux.

Graphique XVIII.



L'animal reste parfaitement tranquille pendant toute la durée de l'expérience; au moment où le sang artériel contient de 80 à 90 volumes d'acide carbonique, les pattes, les nerfs cruraux et sciatiques deviennent complétement insensibles; l'œil ne perd sa sensibilité que plus tard, aux environs de 100 volumes. La mort survient sans apparence de convulsions. Il est même difficile d'en constater le moment. Sur la fin, les respirations se ralentissent tellement, que je les ai vues, dans certains cas, ne

se faire que toutes les deux ou trois minutes. Quand elles ont cessé, le cœur bat encore pendant plusieurs minutes.

Après la mort, l'excitabilité des nerfs moteurs persiste pendant le même temps que dans les morts ordinaires.

Les tissus sont chargés d'acide carbonique. J'en ai la preuve en laissant séjourner pendant vingt-quatre heures dans une solution de potasse un certain poids de muscles, par exemple, puis en faisant, par la pompe à mercure, en présence d'acide sulfurique, l'extraction de l'acide carbonique contenu dans ce liquide et aussi dans la solution type. Je trouve ainsi que les muscles qui, d'ordinaire, ne contiennent pour 100 volumes que 15 à 20 volumes de ce gaz, en donnent alors jusqu'à 60 volumes; on en extrait moins du cerveau; mais j'en ai vu jusqu'à 100 volumes dans 100 volumes d'urine, et l'estomac en est souvent gonflé et distendu.

Les mêmes phénomènes, cela n'est pas inutile à rappeler, se manifestent chez les animaux qui sont morts dans l'air comprimé et confiné, entre 2 et 8 atmosphères. Chez eux aussi, la respiration se ralentit notablement, le cœur continue à battre après la mort, la température s'abaisse prodigieusement; la mort survient sans aucune convulsion, après une longue période d'insensibilité, le sang demeure suffisamment riche en oxygène, et se sature presque, ainsi que les tissus, d'acide carbonique.

Je demande, à ce dernier propos, la permission de citer une expérience bien caractéristique. Quatre Moineaux sont placés en vases clos : A, dans l'air à 6 atmosphères ; B, dans de l'air suroxygéné ; C, dans l'air à la pression ordinaire ; D, dans l'air à une demi-atmosphère. L'analyse par la potasse, suivant la méthode ci-dessus décrite, montre que 100 grammes du corps de ces Moineaux contenaient : A, 33 centim. cub. de CO^2 ; B, 36 ; C, 17 ; D, 0. D est mort par simple privation d'oxygène ; A et B, par empoisonnement carbonique ; C, par asphyxie ordinaire, phénomène mixte, comme je le montrerai tout à l'heure.

Quand on arrête l'expérience au moment où le sang contient de 80 à 90 volumes de CO^2, l'animal étant insensible, on voit, après quelques minutes de respiration à l'air, la sensibi-

lité reparaître. Bientôt le Chien roidit lentement les pattes, se tord lourdement sur lui-même, avec toutes les allures d'un animal hibernant qu'on réveille. En vain essaye-t-il de se remettre sur ses pattes; plus tard, il a souvent des mouvements de manége assez curieux qui durent quelques minutes. Dans d'autres circonstances, il présente de singulières trépidations, ou même des convulsions irrégulières qui ressemblent à celles que produit l'acide phénique. La température s'élève sur ces entrefaites, l'acide carbonique s'élimine rapidement du sang et sans doute aussi des tissus, et l'animal survit.

Il est à noter que ce réveil, qui ressemble tant à celui des animaux refroidis, arrive lors même qu'on a fait respirer tout d'un coup à l'animal un mélange très-carbonique qui l'a rendu insensible en quelques minutes, sans abaisser sa température.

Je puis donc tirer des faits ci-dessus rapportés les conséquences suivantes :

A. Quand un animal respire en vase clos, soit dans l'air comprimé, soit dans l'oxygène à la pression normale, en telle sorte que l'oxygène ne lui fasse jamais défaut, la tension croissante du CO^2 dans l'air maintient une proportion croissante du même gaz dans le sang; d'où il résulte que l'acide carbonique produit dans la profondeur des tissus reste dans ces tissus; l'organisme s'en sature presque. Il agit alors tout particulièrement sur les centres nerveux, et amène la mort par cessation des mouvements respiratoires.

B. Aucune agitation, aucun mouvement convulsif ne précède la mort. Rien ne prouve mieux l'erreur de la théorie soutenue par beaucoup de physiologistes, d'après laquelle les convulsions générales ou locales de l'asphyxie, de l'hémorrhagie, etc., seraient dues à l'acide carbonique maintenu en excès dans le sang ou dans les tissus. Ces convulsions auxquelles, comme je l'ai souvent dit, on a accordé une valeur théorique qu'elles ne méritent pas, sont évidemment dues à un trouble brusque dans les conditions de nutrition de la moelle épinière. Il suffit d'agir avec une certaine lenteur pour qu'elles ne se manifestent pas.

Je rappelle ici que j'ai montré au contraire les convulsions survenant chez les animaux rapidement décomprimés, où l'acide carbonique disparaissait presque des tissus et du sang. Enfin, chez les animaux empoisonnés par l'acide carbonique, c'est précisément lorsque ce gaz sort des tissus que surviennent les mouvements convulsifs.

C. L'abaissement rapide de la température me paraît mériter une attention particulière. Lorsqu'on examine la courbe qui exprime l'absorption de l'oxygène extérieur, on voit que pendant les premières heures elle indique une absorption normale et régulière d'oxygène, et cependant la température diminue. Ainsi, malgré l'entrée dans le sang d'une grande quantité d'oxygène, les oxydations intra-organiques qui fournissent la chaleur diminuent d'intensité au fur et à mesure que le sang et les tissus se chargent d'acide carbonique.

D. Le cœur, tout en ralentissant de bonne heure ses battements, n'en demeure pas moins l'*ultimum moriens*. Ceci n'est pas en contradiction avec l'action bien connue que l'acide carbonique, respiré tout d'un coup, exerce sur le cœur. J'ai montré dès 1864, que si l'on place deux Rats nouveau-nés, l'un dans l'acide carbonique, l'autre dans l'azote, le cœur de ce dernier continue à battre pendant plus d'un quart d'heure, tandis que celui du premier est arrêté en deux ou trois minutes. Mais ces conditions sont toutes différentes de celles de mes expériences actuelles. Il s'agit ici d'acide carbonique lentement formé par l'organisme lui-même, et non d'un flot d'acide arrivant tout à coup au sang du cœur gauche.

E. Cette persistance des battements du cœur, le maintien de la pression cardiaque à une valeur élevée, éloignant toute crainte de syncope, me paraissent mériter d'appeler l'attention des chirurgiens sur l'emploi, comme anesthésique, de l'acide carbonique produit par la méthode dont j'ai parlé, c'est-à-dire par a respiration de l'oxygène en vase clos. A un moment où le sang artériel contient environ 80 volumes de ce gaz, où le cœur bat 90 fois à la minute, où la pression carotidienne est restée à son

chiffre normal, où il n'y a aucune espèce de danger pour la vie de l'animal, on peut écraser les doigts de celui-ci, lui tailler les membres, lui galvaniser les nerfs sciatiques, sans obtenir le moindre signe de douleur ni le moindre mouvement réflexe. Ceci encouragera peut-être à reprendre par la méthode nouvelle les tentatives peu importantes qu'on a déjà faites pour l'anesthésie générale au moyen de l'acide carbonique. L'état anesthésique ne paraît ici précédé d'aucune période d'excitation ou de révolte; mais il conviendra de faire entrer en ligne de compte l'abaissement de température dont il est accompagné, et aussi de veiller à ce que l'acide carbonique emmagasiné ne s'élimine pas trop vite, à cause des convulsions de retour.

Je termine en rappelant que, d'après mes anciennes recherches (1), la tension mortelle de l'acide carbonique dans l'air extérieur est, pour les Reptiles, exprimée par un chiffre moins élevé que pour les animaux à sang chaud. C'est aux environs de 16 à 18 pour 100 qu'arrive la mort.

De là découlent des conséquences assez curieuses sur les théories paléontologiques qui expliquent l'antériorité du type Reptile par l'impureté de l'air alors chargé de CO_2 et impropre à la vie des Mammifères. C'est le contraire qu'il faudrait dire. J'ai vu depuis longtemps que l'acide carbonique est pour les Grenouilles qu'on y plonge un poison plus rapide même que l'oxyde de carbone; ce qui s'explique aisément : CO agissant à la façon d'une simple hémorrhagie, ou d'une asphyxie dans Az, en supprimant l'oxygène des globules du sang, tandis que CO^2 empoisonne les tissus eux-mêmes. Seulement, si l'on arrête l'expérience avant que les animaux soient tout à fait morts, la Grenouille de CO^2 se remet assez vite; celle de CO meurt au contraire, étant définitivement privée physiologiquement de ses globules sanguins.

Asphyxie. — Les recherches qui précèdent m'ont tout naturellement conduit à m'occuper de l'asphyxie en vases clos, dans l'air ordinaire, à la pression normale. Ici, au moment de la mort, tension très-faible de l'oxygène, tension assez forte

(1) Voy. *Bulletins de la Société philomatique*, 1864.

de CO^2. A laquelle des deux influences est due la mort? Toutes deux interviennent-elles?

J'ai déjà traité cette question dans mes *Leçons sur la respiration*, et, me basant exclusivement sur la composition chimique de l'air devenu mortel (1), j'étais arrivé aux conclusions suivantes :

A. Pour les animaux à sang chaud, la mort a lieu par privation d'oxygène;

B. Pour les animaux à sang froid, par empoisonnement dû à l'acide carbonique.

L'examen direct du sang et des tissus, la comparaison avec les résultats énoncés ci-dessus, confirment la première de ces conclusions; la seconde est restée en dehors de mes recherches nouvelles. Déjà, du reste, les expériences sur la mort par diminution de pression m'avaient montré que le chiffre de la tension minimum d'oxygène compatible avec la vie était précisément celui de l'oxygène qui reste dans les cloches pleines d'air ordinaire, à la pression normale, après l'asphyxie.

Je ne dirai rien des symptômes de l'asphyxie en vases clos; ils sont connus, et bien connus aussi les résultats des autopsies. Je me contente de donner des graphiques résumant les différentes phases d'une expérience faite sur un Chien qui respirait, à l'aide d'un tube fixé dans la trachée, de l'air contenu dans un sac de caoutchouc (environ 120 litres).

A gauche (graphique XIX), se trouvent tracées les altérations de l'air du sac : O restant, CO produit, CO_2 + O, somme de l'oxygène *restant* et du CO_2 produit. A droite, la courbe de la température θ, qui a baissé de 38°,5 à 36 degrés, et les altérations des gaz du sang.

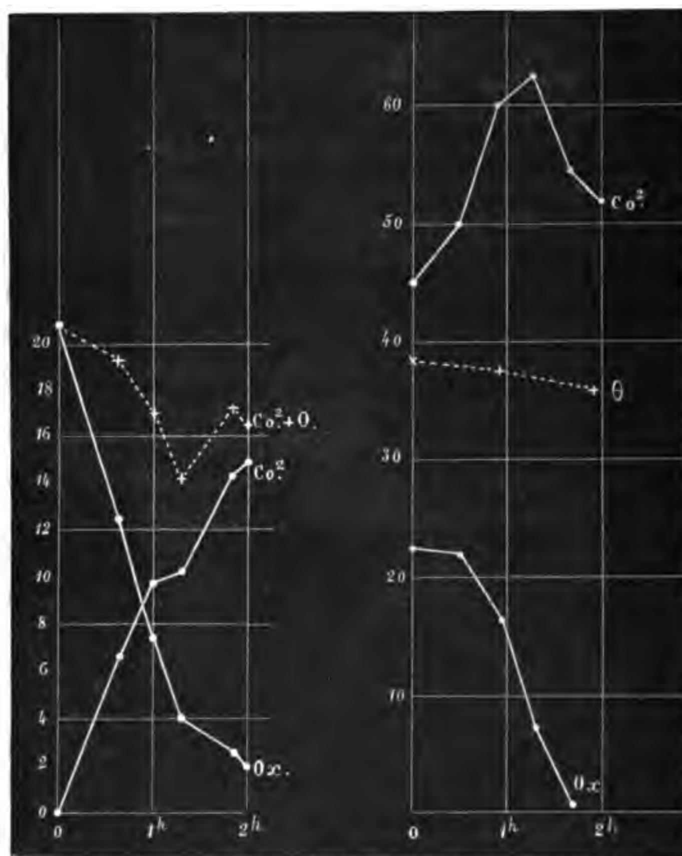
Si l'on considère d'abord la courbe de l'oxygène du sang, on voit qu'elle aboutit à une valeur inférieure à 1 pour 100. Mais j'ai toujours, différant en ceci de la plupart des auteurs allemands, trouvé dans le sang artériel des animaux asphyxiés une quantité appréciable d'oxygène. Cette proportion est ici aussi

(1) Page 525.

faible que dans les expériences où je supprimais l'acide carbonique (page 92 et suiv.).

Si maintenant je dresse un graphique (graphique XX) en prenant pour abscisses les valeurs d'oxygène contenu dans l'air extérieur, et en portant sur les ordonnées les quantités d'oxygène

Graphique XIX.



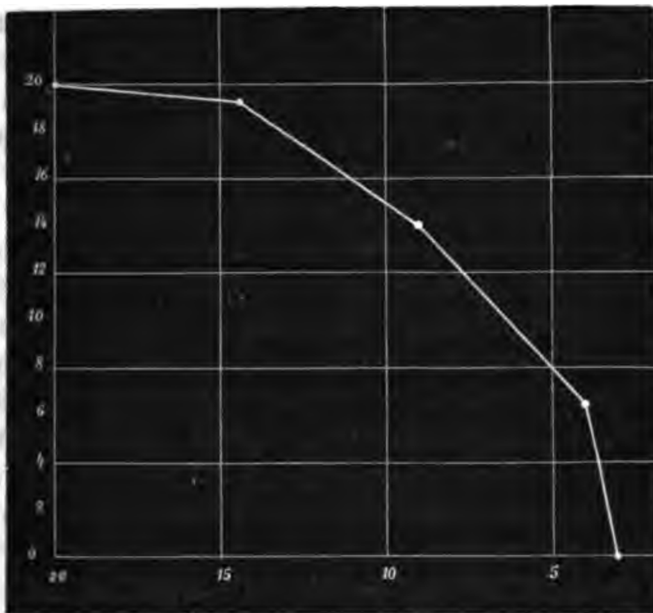
contenues dans 100 volumes de sang artériel, j'arrive à un résultat qui ressemble tout à fait au graphique VII, tracé Ox., de la page 57; ce qui montre que l'intervention du CO_2 n'a ici nullement agi.

Je signale en passant ce fait que l'insensibilité à l'œil et la dilatation de la pupille ne surviennent qu'aux limites extrêmes,

alors qu'il n'y a plus que de très-faibles proportions d'oxygène (de 1 à 2 pour 100) dans le sang. Il n'y a donc rien d'étonnant que ce soit un signe prochain de la mort dans l'asphyxie.

Envisageant maintenant l'acide carbonique de l'air (graphique XIX, à droite, tracé CO^2), la première chose qui frappe, c'est

Graphique XX.



le point de rebroussement correspondant à 1 heure 20 minutes; il montre que dans les derniers moments de la vie, il y a dans le sang moins de CO^2 que quelques instants auparavant. Lorsque je constatai ce fait pour la première fois, je crus que cet acide, à ce moment où les pulsations sont très-ralenties, s'était imbibé dans les tissus. Mais si l'on examine comparativement le tracé du CO^2 du sang avec celui du $CO_2 + O$ de l'air (graphique XIX, à gauche), on voit que, au moment où CO^2 diminue dans le sang, il augmente considérablement dans l'air expiré, qu'en un mot il sort de l'animal. J'ai dans toutes mes analyses constaté ce fait ignoré jusqu'ici. Il coïncide avec un grand ralentissement de la respiration, ce qui n'en rend pas l'explication plus facile.

Quand le volume de l'air où se fait l'asphyxie est très-faible (20 litres pour un Chien de 12 kilogr.), et à plus forte raison dans l'étranglement ou la noyade, on voit, dès le début, l'acide carbonique diminuer dans le sang artériel.

Laissant de côté ce problème incident, nous voyons que la richesse en acide carbonique du sang artériel n'a jamais dépassé 62 volumes pour 100 volumes de sang dans l'expérience ci-dessus rapportée, ni dans aucune de celles que j'ai faites dans les mêmes conditions.

Or, pour que ce gaz exerce une action toxique se manifestant par l'insensibilité, sans menacer encore la vie, il faut que sa proportion dépasse 80 pour 100. Donc, bien évidemment, son rôle dans l'asphyxie, car il ne faut peut-être pas lui refuser toute action, est singulièrement restreint et faible ; mais il est absolument nul dans l'étranglement et la noyade.

L'analyse des tissus par la méthode ci-dessus indiquée le montre parfaitement encore. Les muscles d'un Chien asphyxié, traités par la potasse, puis par le vide, comme il a été dit page 99, ne m'ont donné que des quantités de CO^2 très-peu supérieures à celles qu'on trouve dans les muscles d'animaux tués par section du bulbe, c'est-à-dire de 20 à 30 volumes pour 100 volumes de muscles.

En définitive, et tout considéré, l'asphyxie en vases clos, l'asphyxie par strangulation et par submersion, sont dues à la privation de l'oxygène, l'acide carbonique ne jouant dans les deux dernières aucun rôle, et dans la première n'ayant qu'une influence tout à fait sans importance.

CHAPITRE V.

INFLUENCE DES MODIFICATIONS BRUSQUES DE LA PRESSION.

Jusqu'ici les expériences de compression ou de décompression dont j'ai rendu compte ont été exécutées avec une certaine lenteur ; or les ouvriers qui travaillent sous pression se compriment et se décompriment en quelques secondes, avec une très-imprudente rapidité. Les médecins ont de tout temps reconnu

que c'est *au moment de la décompression* que surviennent les accidents souvent fort graves qui les atteignent.

Ces accidents consistent en de vives douleurs locales, des paraplégies, des paralysies plus étendues encore, parfois même une mort, qui peut être soudaine. On a cité une compagnie anglaise qui, dans une seule année, sur vingt-quatre plongeurs, en a perdu dix, dont trois sont morts subitement, et les sept autres après plusieurs mois de paralysie.

Ces phénomènes curieux et redoutables ont reçu, des ingénieurs et des médecins qui les ont observés, les explications les plus variées, et parfois les plus étranges. Mais je n'en connais que deux qui méritent d'être examinées. La première est due à M. le professeur Rameaux, de Strasbourg (voy. Bucquoy, *Thèse de Strasbourg*, 1861).

Dans l'opinion du savant physicien, les accidents seraient dus à ce que les gaz normaux du sang (acide carbonique, oxygène, azote), se dissolvant en quantité plus considérable dans ce liquide sous l'influence des hautes pressions, repassent à l'état gazeux lorsque la pression n'est plus que d'une atmosphère, obstruant ainsi le calibre des vaisseaux sanguins, et faisant courir au patient les mêmes périls qu'une injection d'air dans les veines.

M. Bouchard (*Pathogénie des hémorrhagies*, Paris, 1869) explique autrement ces faits. Lorsque les gaz intestinaux, diminués de volume par l'effet de la pression, et dont le sang, qui tend alors à remplir l'abdomen, a pris la place, viennent à se dilater subitement par l'effet de la décompression, ils chassent brusquement dans la circulation générale ce sang, dont l'irruption soudaine peut produire dans divers organes, et notamment dans les centres nerveux, des apoplexies et des congestions.

Voyons maintenant ce que dit l'expérience directe.

Tout d'abord l'augmentation subite de la pression ne paraît pas exercer d'action notable sur les animaux. Des Moineaux qui passent instantanément de 1 à 10 atmosphères se tiennent un moment cois et immobiles, pour reprendre bientôt leurs allures habituelles.

Mais pour la décompression, il en est tout autrement. Prenons un exemple :

Un Chat très-vigoureux est placé dans un vaste récipient, où la pression est, en une demi-heure environ, portée à 8 atmosphères. A ce moment, on ouvre brusquement un gros robinet, et la pression s'équilibre en quelques minutes avec celle de l'air extérieur. L'appareil étant ouvert, l'animal bondit et s'échappe, sain et sauf en apparence ; mais, après dix minutes environ, il est pris d'une paraplégie complète avec paralysie de la vessie : l'urine contient du sang et des spermatozoïdes. Le lendemain cet état persiste, la paralysie fait des progrès ascendants; on tue l'animal, et l'on trouve la région dorso-lombaire de la moelle épinière ramollie comme de la crème, sans pouvoir y constater, même au microscope, la moindre trace d'épanchement sanguin ou simplement de congestion.

Je le dirai ensuite : la seconde des hypothèses ci-dessus mentionnées doit être, jusqu'à preuve anatomique du contraire, écartée. J'ai bien vu quelquefois, chez des animaux tués par décompression brusque, après un long séjour dans l'air comprimé, l'estomac et les intestins fortement distendus par des gaz, mais je n'ai jamais vu dans les centres nerveux, ni dans d'autres viscères, d'hémorrhagies pouvant expliquer les paralysies ou la mort.

L'hypothèse de M. Rameaux a été confirmée, au contraire, par de nombreuses expériences (1). J'ai vu les gaz se dégager dans le sang, en bulles d'une ténuité extrême, ou se réunir en collections assez considérables pour que, du cœur droit d'un Chat, j'aie pu extraire jusqu'à 33 centimètres cubes de gaz et en faire alors une analyse exacte. Je l'ai trouvé composé d'azote dans des proportions variant de 70 à 90 pour 100 : le reste était constitué par de l'acide carbonique.

Suivant la valeur de la pression à laquelle on a poussé l'animal, suivant la rapidité de la décompression, il arrive que les gaz se dégagent tout à coup en grande quantité, ou qu'il n'en repasse à l'état libre que des bulles plus ou moins nombreuses.

(1) Seulement M. Rameaux croyait à tort que la proportion de *tous les gaz* du sang avait augmenté.

Dans le premier cas, la circulation s'arrêtant, la mort survient à peu près instantanément, après quelques cris et quelques convulsions. On trouve alors le cœur et les vaisseaux, particulièrement le cœur droit et le système veineux, remplis d'une sorte de mousse; les capillaires sont finement injectés de gaz; le système porte est envahi comme les autres. Il m'est arrivé de voir périr de la sorte une Chienne pleine; l'autopsie me montra les placentas déchirés par le gaz, le sang des fœtus mousseux comme celui de leur mère, et des gaz devenus libres dans le liquide allantoïdien, mais non dans l'amnios.

Dans le second cas, les phénomènes varient suivant le lieu de l'organisme où vont s'arrêter les bulles fines du gaz pour y intercepter la circulation. Ce ne sont parfois que des accidents passagers, des troubles locomoteurs qui disparaissent bientôt; mais très-souvent j'ai observé des paraplégies semblables à celles du Chat dont je viens de retracer l'histoire, ou des paralysies plus générales, ou des accidents cérébraux avec déviation des yeux et apparence de fureur, ou encore la mort subite, auquel cas les vaisseaux du bulbe étaient remplis de gaz.

On comprend qu'entre ces deux cas bien tranchés il s'en place d'intermédiaires, dans lesquels les gaz se dégagent assez abondamment pour qu'on entende dans le cœur droit un bruit de gargouillement très-remarquable, la paralysie étant d'emblée presque générale, mais la mort ne survenant pas immédiatement.

Je n'ai jamais vu des accidents de paralysie ayant duré plus d'une heure guérir consécutivement, bien que les animaux aient parfois survécu près de huit jours : toujours la paralysie suivait une marche ascendante jusqu'à la mort. On trouvait alors, comme je l'ai déjà dit, la moelle épinière ramollie sur divers points, et particulièrement dans la région dorso-lombaire, qui est presque toujours la première envahie. La rapidité de ces ramollissements par arrêt circulatoire est une chose des plus remarquables, et je suis persuadé que la physiologie pathologique pourra trouver dans ces expériences une source d'enseignements précieux.

Lorsque la pression n'a pas dépassé 5 atmosphères, la décompression peut avoir lieu en deux ou trois minutes, sans accidents apparents ; mais, à partir de 6 atmosphères, chez les Chiens, j'ai observé des troubles, qui deviennent constants et toujours fatals au-dessus de 7 atmosphères. Quand on arrive à 10 atmosphères, pression maxima obtenue dans mon appareil, la paralysie et la mort ne peuvent être évitées que par une décompression extrêmement lente : cinq minutes par atmosphère ne sont pas suffisantes pour mettre à l'abri de ces graves accidents. J'ai même vu des paralysies, légères et peu durables, il est vrai, survenir après une décompression dans laquelle on avait mis une heure et demie (dix minutes par atmosphère) pour descendre de 10 atmosphères à la pression normale.

Ces faits ont été observés sur des Chiens, des Chats et des Lapins, avec des résultats sensiblement identiques. On est donc en droit d'appliquer, dans une certaine mesure, les données qui précèdent à l'hygiène des plongeurs à scaphandres et des ouvriers des tubes. On peut dire, par exemple, que, jusqu'à 3 atmosphères environ, la décompression brusque ne présente pas de dangers sérieux, mais ces dangers vont en augmentant très-rapidement à partir de 5 atmosphères. Si les plongeurs qui ne dépassent pas 40 mètres peuvent être le plus souvent ramenés sans accident à la surface, la rapidité avec laquelle on les retire *à la brasse* les exposerait à une mort certaine, s'ils avaient pu atteindre des fonds de 70 à 80 mètres.

Dans l'état actuel, les plongeurs ne dépassent guère 40 mètres, une salutaire terreur sur les effets de la décompression les empêche d'aller plus profondément. D'autre part, lorsqu'ils veulent descendre, ils éprouvent, paraît-il, un malaise qu'il faut sans aucun doute rapporter à l'action de l'oxygène s'introduisant en trop forte proportion dans le sang ; je reviendrai au prochain chapitre sur ces faits.

Les gaz qui repassent à l'état libre contiennent, comme je viens de le dire, de 70 à 90 pour 100 d'azote, le reste en acide carbonique. La présence de l'azote n'a rien d'extraordinaire. Les chiffres rapportés à la page 95 montrent que la proportion

d'azote dans le sang arrive à dépasser de beaucoup la capacité de dissolution à la pression normale; il doit donc nécessairement revenir à l'état libre quand la pression diminue.

C'est ce qui m'arrivait lorsque j'extrayais le sang d'animaux sous pression ; les gaz se dégageaient dans la seringue, et cela ne laissait pas que de diminuer un peu l'exactitude des analyses.

La présence de l'acide carbonique est plus difficile à expliquer, puisque ce gaz n'augmente pas dans le sang sous l'influence de l'air comprimé; au contraire (voy. page 61, graphique VIII). Il faut évidemment faire intervenir ici l'espèce de brassage qui s'opère dans le sang par le dégagement des bullettes d'azote. Elles entraînent avec elles une certaine quantité de CO^2, comme fait un courant d'air qui barbotte dans du sang.

C'est un fait très-curieux que ce lieu d'élection pour les paralysies, par l'arrêt des bulles de gaz dans le renflement dorso-lombaire de la moelle épinière; je ne saurais en donner d'explication satisfaisante. Mais j'ai vu maintes fois les bulles de gaz arrêtées, soit dans l'épaisseur de la moelle, soit dans les vaisseaux de la pie-mère; on les y retrouve encore quelquefois le lendemain, séparées par de petits index de sang qui ont évidemment empêché par leur adhérence capillaire la circulation de se rétablir.

J'ai dit plus haut que je n'avais jamais trouvé d'hémorrhagies dans les viscères ni dans les centres nerveux; mais l'influence nulle de la décompression, en tant que phénomène physique, sur la mort, est prouvée d'une manière générale par les nombreuses expériences dans lesquelles, après avoir extrait les gaz du sang de Chien portés à 7, 8, 9 atmosphères de pression, mais respirant de l'air très-suroxygéné, je les décomprimais d'un coup, sans encombre. Ils n'avaient pas de gaz libres, parce qu'il n'y avait que peu d'azote dans leur air, et leurs accidents étaient exclusivement dus à l'action toxique de l'oxygène.

Le danger de la décompression brusque varie suivant les espèces animales, et même d'une façon souvent très-remarquable, dans une même espèce, suivant les individus. Ainsi, pour les Moineaux, la mort subite ne survient guère avant 11 atmosphères;

pour les Lapins et les Chats, la limite est d'environ 9 atmosphères; pour les Chiens, elle oscille entre 7 et 8. Il semble que le danger soit d'autant plus redoutable que l'espèce atteint une plus grande taille; or, chez l'Homme, on a constaté des accidents mortels dès 5 atmosphères.

Chez les Chiens, la règle est que la paraplégie survient vers 7 atmosphères, et la mort vers 7 1/2. Il y a cependant des exceptions, et la plus remarquable m'a été fournie par une Chienne qui a supporté, sans accidents sérieux, des décompressions brusques partant de 7 1/2, 8 et même 8 1/2 atmosphères (1).

Je me suis attaché à rechercher l'explication de ces étranges inégalités. J'ai constaté d'abord que le sang artériel d'un Chien qui respire de l'air à la pression normale est presque saturé d'azote, à la même pression. Aussi, en recueillant avec soin, sous le mercure, le sang de Chiens soumis à des pressions croissantes, j'ai vu les bulles de gaz commencer à apparaître aux environs de 3 atmosphères. Cependant les accidents ne se manifestent que vers 7 atmosphères. Il y a donc, entre 3 et 7 atmosphères, une période dans laquelle le sang des Chiens décomprimés doit contenir des gaz libres en bulles extrêmement fines, sans que les animaux paraissent en souffrir. Il n'en est pas moins vrai qu'ils sont, dans cette période, sous la menace imminente de dangers plus ou moins graves; et, si mes expériences avaient été plus nombreuses, je ne mets pas en doute que certains accidents ne se fussent manifestés à des pressions relativement basses. C'est ce qu'on voit chez les plongeurs et les ouvriers des tubes, dont quelques-uns sont paralysés ou même tués par des décom-

(1) Cette Chienne a été depuis l'occasion d'une observation fort intéressante. Lors des expériences ci-dessus rapportées (faites en janvier et février), elle était fort maigre et un peu maladive. Je la fis soigner d'une manière particulière, et, le 3 juin, elle était très-grasse et bien portante. On la comprima alors à 8 atmosphères, et, décomprimée aussitôt, elle mourut en une demi-heure, avec du gaz dans tout le système veineux, de l'emphysème sous les aisselles, et de très-petites bulles d'air dans tout le pannicule graisseux intra-musculaire, l'épiploon, le médiastin, le tissu graisseux du canal médullaire,

Ainsi le même animal, mais dans des conditions différentes, est mort par une décompression moindre que celle qu'il avait antérieurement supportée sans encombre. Ce fait est fort intéressant quand on le rapproche de la pratique des ouvriers des tubes.

pressions qui n'incommodent pas sérieusement les autres, dont certains succombent un jour à des décompressions qu'ils avaient déjà impunément subies. Dans cette période, il suffit que les bulles se collectent d'une façon particulière, sous l'influence de circonstances secondaires, pour que les accidents surviennent.

Je ne me tenais cependant pas pour satisfait de ces explications, et m'efforçais de serrer de plus près ce problème complexe, lorsqu'il m'arriva un accident instructif, mais qui m'obligea d'interrompre pour un certain temps mes travaux.

J'avais placé un Chien sous une pression de 10 atmosphères, qui, après une heure de séjour, n'était plus que 9 1/2 environ, lorsque l'une des plaques de verre par laquelle je venais d'examiner l'animal, bien portant à ce moment, se brisa avec une forte explosion ; l'appareil fut arraché de ses supports et projeté par un violent recul.

Je n'ai pas besoin de dire que l'animal fut instantanément tué ; ses vaisseaux étaient, comme à l'habitude, remplis de gaz ; mais pour la première fois je trouvai des gaz dans la cavité du ventre, qui en était gonflé, avec un emphysème général du tissu cellulaire sous-cutané et intra-musculaire. Ainsi les gaz qui doivent redevenir libres peuvent s'emmagasiner non-seulement dans le sang, mais dans les autres sucs de l'économie; si je ne les avais pas vus jusqu'ici, c'est que la décompression n'avait pas été suffisamment brusque, ou que les animaux n'étaient pas restés assez longtemps sous pression, ou très-probablement aussi, parce que je n'avais pas examiné d'assez près la présence de bulles très-fines de gaz dans le tissu cellulaire (1). Dans tous les cas, les horribles démangeaisons que les ouvriers des tubes désignent sous le nom de *puces*, les gonflements musculaires qu'ils appellent *mouton*, me paraissent devoir être rapportés à une légère infiltration gazeuse du tissu cellulaire.

J'ai dû me demander s'il serait possible de trouver quelque moyen de prévenir les accidents de la décompression et d'en conjurer les redoutables conséquences. Bien que mes résultats soient

(1) Voyez la note de la page précédente qui se rapporte à une expérience postérieure à la rédaction de ce mémoire.

encore incomplets, je crois qu'ils présentent déjà une utilité pratique qui m'impose le devoir de les faire connaître dès aujourd'hui.

Comment prévenir les accidents? Évidemment par une décompression prudente et mesurée. Lorsqu'on arrive à 9 ou 10 atmosphères, il faut, pour mettre l'animal à l'abri de tout danger, que la décompression marche avec une lenteur d'au moins douze minutes par atmosphère. Il m'a semblé trouver quelque avantage à ne pas décomprimer très-régulièrement, mais à procéder par chutes brusques de 1 à 2 atmosphères, en laissant l'animal pendant un certain temps à l'équilibre : on gagnerait ainsi quelques minutes au total.

Les accidents survenus, la paralysie commençante, la mort imminente, peut-on conjurer ce formidable danger, et comment? La première idée qui s'est présentée à moi a été de recomprimer l'animal, afin de redissoudre les gaz devenus libres; il aurait ensuite suffi de le décomprimer plus prudemment. Je crois l'idée bonne, mais mes appareils ne me permettraient pas de la réaliser : il me faudrait une heure pour remonter à 10 atmosphères, et l'animal serait mort avant. Je pense cependant qu'il y a là un procédé utilisable, surtout chez les plongeurs, qu'on peut instantanément redescendre dans les profondeurs de la mer.

Désarmé de ce côté, j'ai dû chercher autre chose. Pourquoi la mort arrive-t-elle? Parce que les bulles d'azote s'emmagasinent dans le cœur droit et dans les artères pulmonaires. Elles restent là, sans se dissoudre, parce que le sang est saturé d'azote; sans se diffuser, parce que l'air des alvéoles du poumon contient plus de 4/5 d'azote; mais j'étais en droit d'espérer, en faisant respirer à l'animal un gaz ne contenant pas d'azote, que la diffusion s'opérerait assez vite peut-être pour permettre à la circulation pulmonaire de se rétablir et à l'animal d'échapper au péril.

C'est ce qui est arrivé : j'ai fait respirer de l'oxygène à peu près pur à des Chiens déjà paralysés complétement, dont le cœur faisait entendre un bruit très-fort de gargouillement, dont la veine jugulaire mise à nu se montrait gonflée par le gaz; j'ai vu très-rapidement alors les bulles gazeuses de la jugulaire diminuer de

volume, puis disparaître; les bruits du cœur redevenir normaux, l'animal retrouver une respiration régulière et échapper à la mort qui menaçait de le frapper rapidement.

Cependant celle-ci survenait parfois au bout de plusieurs heures de paralysie; dans d'autres cas l'animal demeurait paraplégique. L'autopsie me donnait la raison de cette persistance des phénomènes morbides. Dans le système circulatoire général, le gaz libre avait disparu ; mais dans les centres nerveux on voyait les petits vaisseaux pleins de bulles gazeuses, séparées par des index de sang. Il est évident que la circulation locale de ces organes si importants s'était arrêtée, les bulles de gaz n'ayant pu être ramenées dans la circulation générale ; d'où la paralysie et la mort. Une nouvelle compression pourrait les redissoudre.

Je me sens donc autorisé à conseiller aux armateurs, aux ingénieurs, dont les plongeurs et les ouvriers sont exposés aux accidents signalés, d'employer l'oxygène et de faire respirer ce gaz à leurs hommes, après la décompression, dès qu'un certain malaise viendra faire craindre quelque chose de plus grave. Ils pourraient ensuite, avec plus de tranquillité, essayer de la recompression ; mais la respiration d'oxygène constitue un remède simple, peu coûteux, d'un usage facile, d'une innocuité parfaite, et qui, employé à temps, préviendra, j'en suis persuadé, bien des catastrophes.

J'ajouterai que cette méthode de traitement me paraît devoir s'appliquer avec succès aux accidents dus à l'introduction de l'air dans les veines. J'ai commencé des expériences dans ce sens ; mais ceux qui sâvent quelles difficultés d'appréciation elles présentent (1) me pardonneront de ne pas risquer de me compromettre par des affirmations prématurées; en tout cas, les chirurgiens pourraient, à l'occasion, essayer de ce moyen : il a l'avantage d'être complétement inoffensif.

(1) On sait en effet, et j'ai souvent vérifié sur ce point, en élargissant leur cercle, les expériences de Nysten, qu'on peut à volonté, suivant le mode d'injection, tuer un Chien avec 30 centimètres cubes d'air injecté dans les veines, ou le faire survivre à une injection d'un litre d'air. MM. Laborde et Muron ont tout récemment mis encore une fois ce fait en lumière.

Je dois cependant faire observer que, chez les animaux décomprimés avec rapidité après un assez long séjour dans l'air à de hautes pressions, comme il est arrivé au Chien dans l'appareil qui a éclaté, on trouve des gaz non-seulement dans le sang, mais dans les tissus (jusque dans la chambre antérieure de l'œil, le liquide céphalo-rachidien et dans l'épaisseur de la moelle épinière elle-même), et qu'il n'y a guère de chances d'une guérison par l'oxygène seul; il faudrait recomprimer rapidement.

J'ai été amené, en considérant ce fait, et en me rappelant que les ingénieurs, les médecins, les curieux qui ne séjournent pas très-longtemps dans les tubes à pression, n'éprouvent en sortant ni *mouton* ni *puces*, à chercher si les emphysèmes sous-cutanés ou profonds apparaîtraient chez des animaux qui seraient restés très-longtemps sous des pressions qui jusqu'ici ne m'en avaient pas montré. Or, c'est ce qui est arrivé : un Chien ayant été maintenu pendant cinq heures à 7 atmosphères, puis décomprimé brusquement, mourut comme à l'ordinaire; mais on trouva des gaz non-seulement dans les vaisseaux, mais aussi dans le tissu de l'épiploon et dans les mailles du tissu cellulaire sous-cutané de la région axillaire (1). C'est donc là très-probablement l'origine des accidents légers des ouvriers et des plongeurs.

J'ajoute qu'un certain nombre d'accidents d'ordres beaucoup moins importants peuvent contribuer à amener à plus longue portée certains troubles dans la santé des ouvriers soumis aux brusques alternatives de compression et de dépression. Telle est la subite dilatation des gaz intestinaux capable d'occasionner des douleurs abdominales; tel encore l'état de mousse dans lequel on trouve les liquides de l'intestin et les mucosités des bronches, mousse qui peut parfaitement être la cause, à longue échéance, d'accidents digestifs et respiratoires.

Enfin, la cause de troubles circulatoires indiquée par M. Bouchard, c'est-à-dire la brusque dilatation des gaz intestinaux, chassant violemment le sang des organes abdominaux et donnant ainsi tendance à diverses congestions, me paraît très-réelle, bien

(1) A côté de ce Chien de grande taille s'en trouvaient deux tout petits et très-jeunes qui n'ont rien éprouvé.

qu'elle ne puisse aller, comme le croyait son auteur, jusqu'à occasionner des hémorrhagies internes et amener la mort.

Je crois devoir reproduire ici, sous forme de tableaux, la plus grande partie des résultats expérimentaux que j'ai obtenus dans cet ordre de recherches.

TABLEAU X.

Décompression brusque.

NUMÉROS.	DURÉE de la compression établie.	PRESSION.	DURÉE de la décompression.	ÉTAT DE L'ANIMAL.
				MOINEAUX.
		atm.		
1.	5 min.	8	qq. secondes	Pas d'accidents.
2.	2 min.	8	id.	Id.
3.	2 heures.	8	id.	Meurt en dix minutes. Gaz dans le sang.
4.	1 h. 35 m.	9 1/2	id.	Pas d'accidents.
5.	—	10	id.	Id.
6.	—	12	id.	Meurt presque instantanément. Gaz en abondance.
7.	—	14	id.	Meurt en quelques minutes. Gaz en abondance.
8.	—	14	id.	Pas d'accidents immédiats. Trouvé mort le lendemain.
9.	—	15	id.	Meurt rapidement. Gaz en abondance.
10.	5 min.	16	id.	Meurt en quelques minutes. Gaz; avait un commencement de convulsions par l'oxygène.
				RATS.
11.	3/4 d'heure	4 1/2	qq. secondes	Pas d'accidents.
12.	1 h. 1/4	6	id.	Id.
13.	1 h. 3/4	4 1/2	id.	Id.
				Les expériences suivantes ont été faites dans le grand récipient. Il fallait environ six minutes pour obtenir chaque atmosphère de pression.
				LAPINS.
14.	qq. min.	7	2 à 3 min.	Pas d'accidents.
15.	id.	7	id.	Id.
16.	5 min.	8	id.	Id.
17.	id.	8 1/8	id.	Id.
18.	id.	8 1/8	id.	Id.
				CHATS.
19.	5 min.	8	2 à 3 min.	Paraplégie, meurt en quatre jours; *ramollissement médullaire*. Expérience faite en même temps que l'expérience 16.
20.	9 min.	10	id.	Meurt en quinze minutes. Gaz dans le sang.
21.	1 h. 10 m.	10	id.	Meurt en une demi-heure. Gaz dans le sang et les vaisseaux de la moelle.

NUMÉROS.	DURÉE de la compression établie.	PRESSION.	DURÉE de la décompression.	ÉTAT DE L'ANIMAL.
				CHIENS.
		atm.		
22.	15 min.	4	2 à 3 min.	Pas d'accidents.
23.	—	5	id.	Pas d'accidents. En extrayant à 3 atm. 1/2 le sang artériel sous le mercure, il s'en dégage des gaz.
24.	—	5	id.	Pas d'accidents.
25.	30 min.	6	id.	Id. Même animal qu'à l'exp. 24.
26.	2 heures.	6	id.	Id. Même animal qu'aux exp. 24, 25.
27.	—	6	id.	Traîne un peu le train postérieur; se remet très-bien.
28.	—	6 1/2	4 min. 1/2	Pas d'accidents. Pas de gaz dans le sang de la jugulaire.
29.	qq. min.	7	2 min.	Paraplégie, ramoll. médull. Meurt en 7 jours. Même animal qu'aux exp. 24, 25, 26.
30.	7 min.	7	2 min.	Paraplégie; meurt le lendemain.
31.	10 min.	7	2 min. 1/2	Paraplégie. Recomprimé et décomprimé lentement va mieux, mais meurt le soir. On ne trouve pas de gaz dans le sang. Petites taches hémorrhagiques dans la moelle épinière.
32.	qq. min.	7	2 min. 1/4	Paralysé, meurt.
33.	id.	7 1/4	1 min. 1/4	Paralysé, meurt après vingt-cinq minutes.
34.	id. (33 et 34 ensemble).	7 1/4	1 min. 1/4	Paralysé; respire oxyg., respirations reviennent, gargouillements disparaissent. Reste paralysé, meurt; pas d'air dans les vaisseaux.
35.	qq. min.	7 1/4	2 min.	Meurt en 25 m. Gaz dans cœur droit et gauche.
36.	id. (35 et 36 ensemble).	7 1/4	2 min.	Paralysé, va mourir; respire oxyg. : va mieux, gargouillements disparus; remue, s'agite. Meurt après deux heures; pas de gaz dans les gros vaisseaux.
37.	15 min.	7 1/2	2 min.	Paralysé, énormément de gaz au cœur ; va mourir. On fait respirer oxygène; la respiration revient. Accident; mort.
38.	qq. min.	7 1/2	2 min.	Un peu malade, se remet, un peu paraplégique.
39.	id. (38 et 39 ensemble).	7 1/2	2 min.	Paralysé, gargouillements. Oxygène : les gaz disparaissent, l'animal survit, paraplégique; mourant le 3e jour. Bulles d'air dans les vaisseaux de la moelle épinière.
40.	qq. min.	7 1/2	2 min.	Pas d'accidents.
41.	6 heures.	7 1/2	3 min.	Bulles de gaz dans tout le sang; emphysème dans le tissu cellulaire de l'aisselle et de l'épiploon.
42.	qq. min.	7 3/4	3 min.	Resp. oxyg. Paralysie commençante rétrograde, mouvement de manége; grande amélioration, mais reste paralysé plusieurs jours.
43.	id.	8	3 ou 4 min.	Meurt rapidement.
44.	id.	8	2 min.	Meurt en un quart d'heure.
45.	id.	8 1/4	3 min.	Resp. d'oxyg. Paraplégie, pas de gaz au cœur; va mieux; meurt dans la nuit.
46.	id.	8 1/2	2 min. 1/2	Meurt rapidement. Air partout.
47.	id.	7 1/2	2 min.	Animal de l'exp. 40. — Quelques légers troubles locomoteurs.
48.	id.	8	2 min.	Animal des exp. 40 et 47. — Rien.

NUMÉROS	DURÉE de la compression établie.	PRESSION.	DURÉE de la décompression.	ÉTAT DE L'ANIMAL.
				CHIENS.
49.	qq. min.	atm. 8	2 min.	Animal des exp. 40, 47, 48. — Rien. Pas de gaz dans le sang.
50.	id.	8 1/2	2 min.	Animal des exp. 40, 47, 48, 49.— Rien. Pas de gaz dans le sang.
51.	id.	8 1/2	3 min.	Animal des 5 expériences précédentes. — Mort rapide (25 min.). Gaz dans toutes les veines, dans veine porte, etc., emphysème (voyez la note de la page 112).
52.	id.	9 1/4	3 min.	Sang tiré à 6 3/4 donnait beaucoup de gaz. Mort après quelques respirat. Gaz partout. Elle est pleine; gaz dans le sang des fœtus, dans l'allantoïde; placenta déchiré.
53.	id.	10	3 min.	Extract. 34 cent. cub. de gaz dans cœur droit (CO^2, 20,8; —Az,79,2; — O, 0,0).— Gaz dans les vaisseaux de la pie-mère.
54.	1 heure.	10	Explosion.	Mort instantanée. Enorme emphysème sous-cutané, sous-musculaire. — Gaz dans le ventre, dans l'épiploon, dans la chambre antérieure de l'œil, dans le liquide céphalo-rachidien, dans la moelle. Pas d'hémorrhagie moelle, cerveau, poumons. Pas de gaz dans le cœur gauche. Cœur droit tout gazeux (CO_2, 15,2; — Az, 82,8; — O, 2,0).

TABLEAU XI.

Décompression lente et progressive.

NUMÉROS	ESPÈCE D'ANIMAL.	PRESSION.	DURÉE de la décompression.	ÉTAT DE L'ANIMAL.
1.	Chat.........	atm. 10	De 10 atm. à 5 en 1 min.; de 5 à 1, lentement.	Meurt en un jour; ramollissement de la moelle.
2.	Lapin......... (celui de l'exp. 16, tableau X).	10	simultanément. 2 min. par atm. 20 min.	Paralysé après 1 heure, vit plus de 3 heures.
3.	Chat.........			Meurt en 5 min. — Gaz du cœur, 23cc (CO^2, 15,9; Az, 84,1).
4.	Chat.........			Retiré mourant. — Gaz du cœur, 33cc (CO^2,17; Az, 83).

NUMÉROS.	ESPÈCE D'ANIMAL.	PRESSION.	DURÉE de la décompression.	ÉTAT DE L'ANIMAL.
5.	Cochon d'Inde.	10	simultanément. De 10 à 5 en 1 min., de 5 à 1 en 30 min.	Meurt en 15 min.; gaz dans le système veineux. Aucun accident.
6.	Chat.........	10		
7.	Chien........	9	En 1 heure environ.	Meurt rapidement.
8.	Id...........	10	3 min. par atm. 27 min.	Paraplégie; mort dans la nuit.
9.	Id...........	10	5 min. id. 50 min.	Gargouillement; paralysie progressive. Meurt dans la nuit.
10.	Id...........	10	8 min. id. 1 h. 12 m.	Aucun accident.
11.	Id...........	10	10 min. id. 1 h. 30 m.	Légers accidents; survit.
12.	Id...........	10	De 10 à 6 en 1 min. De 6 à 1 en 1 heure.	Légers troubles locomoteurs; guérit. Animal des exp. 24, 25, 26, 29 (tableau X). Celle-ci a été faite avant 24.
13.	Id...........	10	De 10 à 7 1/2, 8 m. par atm.; de 7 1/2 à 6 1/4, 15 min. par atm.; de 6 1/4 à 4 1/2, 9 min. par atm.; de 4 1/2 à 1, 3 min. par atm. En tout une heure.	Complétement paralysé; gargouillements au cœur. Meurt en 20 min. Gaz dans tout le sang.
14.	Id...........	10	Brusquement de 10 à 8; de 8 à 6; de 6 à 4; de 4 à 2; de 2 à 1. A chaque stade, 15 m. d'arrêt. — En tout 1 h. 10 min.	Sort librement de l'appareil; bientôt crie, troubles locomoteurs. Guérit et survit.
15.	Id...........	10	De 10 à 6 en 2 minutes; laissé 30 min. à 6. De 6 à 3 en 2 minutes; laissé 45 min. à 3. De 3 à 1 environ 15 m. En tout environ 1 h. 30.	Aucun accident.

Il n'est pas sans intérêt d'ajouter que des Anguilles placées depuis deux jours, à 10 atmosphères d'air (dans l'eau) et décomprimées soudain, sont également mortes, par suite du même mécanisme; on voyait leur cœur battre, tout gonflé d'air, pendant plusieurs heures. Si donc l'eau de la mer tenait en dissolution d'autant plus d'azote qu'elle serait à de plus grandes profondeurs, les Poissons ne pourraient, sans danger de mort immédiate, passer d'une certaine couche à une couche notablement supérieure.

L'observation de la vessie natatoire, chez les Anguilles ou les Cyprins, a fourni un résultat intéressant. Quand on comprime

l'air au-dessus de l'eau où nagent ces Poissons, ils vont au fond comme des *ludions*. Si l'on décomprime peu après, ils ne présentent rien de particulier. Mais, les laisse-t-on un jour sous pression, quand on décomprime, on voit que leur vessie natatoire est surgonflée par des gaz de nouvelle production. Il serait facile de voir si ces gaz sécrétés tout naturellement sont, comme ceux qu'obtenait M. Moreau après ses piqûres de la vessie natatoire, plus riches en oxygène que les gaz normaux; il faudrait alors étudier l'influence de la composition chimique des diverses atmosphères soumises à la pression. On se rappelle que, suivant Biot, il y aurait d'autant plus d'oxygène dans le gaz de la vessie natatoire, que le Poisson habiterait dans de plus grandes profondeurs.

CHAPITRE VI.

INFLUENCE DE LA PRESSION ET DE LA DÉPRESSION SUR LES VÉGÉTAUX.

GERMINATION. — J'ai commencé cette étude, dont je donne ici très-brièvement les principaux résultats, par la germination, dont les phénomènes chimiques se rapprochent beaucoup de ceux de la vie animale.

J'ai employé dans mes expériences plusieurs espèces de graines : celles d'Orge, de Blé, de Belle-de-nuit (albumen farineux); celles de Ricin (albumen huileux); celles de Melon, de Cresson ou de Radis (sans albumen). Voici les conclusions auxquelles j'ai été conduit :

1° *Diminution de pression.*—La germination se fait d'autant plus lentement que la pression est moindre; le nombre des réussites dans un même semis diminue aussi avec la pression.

Exemple. — 17 juin, semé sur terre bien humide 90 grains d'Orge dans trois terrines semblables et placées ensuite : *a*, sous cloche de 2 litres, à la pression normale; *b*, sous cloche de 10 litres, à 50 centimètres de pression; *c*, sous cloche de 13 litres, à 25 centimètres de pression. Les cloches sont maintenues bien closes; l'air y est saturé d'humidité.

Le 22 juin, il a poussé : dans *a*, 76 brins, mesurant 10 centimètres de longueur en moyenne, et qui, séparés de la graine, puis desséchés à 100 degrés, pèsent chacun $0^{gr},0088$; dans *b*, 36 brins, mesurant 8 centimètres, moins verts que ceux de *a*, pesant chacun $0^{gr},0071$; dans *c*, 25 brins, mesurant 5 centimètres, encore moins verts que ceux de *b*, pesant chacun $0^{gr},0062$.

La limite inférieure de germination est pour l'Orge de 6 à 8 centimètres ; pour le Cresson, elle est d'environ 12 centimètres.

Les graines qui sont restées, à une pression plus faible, sans germer, ne sont pas mortes, et germent quand on les ramène à l'air.

Ici se pose naturellement la question de savoir si c'est à la dépression barométrique elle-même ou à la faible tension du seul oxygène qu'il convient de rapporter ces troubles dans la germination. C'est la question que je me suis déjà posée pour les animaux, où des conditions secondaires avaient induit en erreur les observateurs et les médecins qui m'avaient précédé dans cette étude. Il m'a été facile d'y répondre. En effet :

A. Des germinations dans un air pauvre en oxygène, mais à la pression normale, se font moins vite que dans l'air ordinaire, ainsi qu'on le sait depuis Huber et Senebier.

B. Des germinations sous basse pression, mais dans de l'air suroxygéné, se font aussi vite que dans l'air normal, à la pression normale.

Exemple. — 4 novembre, semis d'Orge dans trois cloches : *a*, air à la pression normale ; *b*, air à 15 centimètres de pression ; *c*, air contenant 70 pour 100 d'oxygène, à 20 centimètres de pression. La germination se manifeste en *a* et *c* le 7 et le 8 novembre, en *b* le 11. Le 25 novembre, les grains de *a* sont tous poussés vigoureux et mesurent 12 centimètres ; ceux de *c*, de même ; en *b*, il y a seulement trois grains germés, à feuilles minces et peu vertes.

C. La germination peut se faire à la pression de 4 centimètres, à la condition d'employer une atmosphère suroxygénée.

D. La limite inférieure de germination, trouvée par Huber et Senebier, dans l'air peu oxygéné, correspond à peu près à celle que je viens d'indiquer pour la pression atmosphérique. La germination, disent-ils, cesse quand il n'y a qu'environ 1/7e d'oxygène (graines de Laitue). Or, le 1/7e de 76 centimètres est 11 centimètres, tension minima pour les graines de Cresson.

Ainsi, la germination se fait moins vite dans l'air dilaté, et cela tient à la trop faible tension de l'oxygène.

2° *Augmentation de pression.* — Elle paraît être légèrement favorable à la germination et aux premiers développements des graines de Graminées jusqu'à 2 et peut-être 3 atmosphères; au delà son action est manifestement nuisible. A 5 atmosphères, la germination est déjà singulièrement ralentie ; à 10 atmosphères, il ne sort plus que quelques radicules; à 12, rien du tout.

Les graines de Ricin, de Melon, de Soleil, de Belle-de-nuit, de Cresson ou de Radis, ne poussent pas non plus à 10 atmosphères d'air.

Si l'on ramène à la pression ordinaire, au bout de quelques jours, les graines d'Orge et celles des premières plantes ci-dessus énumérées qui ont été semées à 10 atmosphères, elles ne germent plus, elles sont mortes; celles de Radis ou de Cresson, après quelques jours d'exposition à l'air, recommencent au contraire à germer.

Cette action de la pression est due à la trop forte tension de l'oxygène; on obtient en effet les mêmes résultats à la pression normale avec des atmosphères suroxygénées. On voit ainsi qu'à la pression barométrique normale, la germination de l'Orge paraît favorisée par une suroxygénation de l'air allant jusqu'à 30 à 50 pour 100, mais qu'au delà elle est ralentie; vers 80 ou 90 pour 100, correspondant à 4 et 4 1/2 atmosphères, le doute n'est plus possible, et les graines, surtout celles des Graminées, se développent infiniment moins bien que dans l'air ordinaire.

Ces résultats sont confirmatifs des faits publiés, il y a bien longtemps, par Huber et Senebier, et que la plupart des physiologistes avaient révoqués en doute.

Si l'on emploie de l'air suroxygéné sous pression, on voit

que, par exemple, 3 atmosphères de pression d'un air riche à 80 pour 100 d'oxygène (ce qui équivaut à $\frac{3 \times 80}{20,9}$ = environ 12 atmosphères d'air), la germination ne se fait plus, les graines étant tuées, comme il vient d'être dit. En sens inverse, si l'on opère la compression avec de l'air très-pauvre en oxygène, en telle sorte que la tension finale de ce gaz ne dépasse pas celle de l'air ordinaire à 2 ou 3 atmosphères de pression, la germination se fait régulièrement.

La germination du Cresson et du Radis est beaucoup moins impressionnée par la richesse en oxygène à la pression normale : à 3 atmosphères d'air suroxygéné, elle ne se fait pas ; mais les graines ne sont pas mortes, il faut aller plus haut pour les tuer.

Si l'on examine comparativement les altérations de l'air comprimé et celles de l'air à la pression normale dans des vases clos où ont été faits des semis, on trouve que dans l'air comprimé la consommation d'oxygène a été beaucoup moindre qu'à la pression normale.

Ainsi, dans un cas, en quatre jours, des grains d'Orge semés : *a*, dans l'air ; *b*, dans une atmosphère suroxygénée à $2^{atm},5$, correspondant en tension à 11 atmosphères d'air, et où aucune germination n'avait eu lieu, sans que pour cela les grains soient déjà morts, avaient consommé, pour 10 grammes de grains : *a*, 225 centimètres cubes d'oxygène ; *b*, 136 centimètres cubes.

Ici donc, comme pour les animaux, nous en arrivons à cette conclusion, que la trop grande tension de l'oxygène ralentit les oxydations.

Acide carbonique. — Dans ces expériences avec l'air comprimé, il faut avoir la plus grande attention à changer très-fréquemment l'air des récipients, à cause de l'influence fâcheuse qu'exerce l'acide carbonique qui se forme par la germination et dont la tension est augmentée par la pression.

Quand cette tension arrive à être exprimée par 20 ou 25, la germination ne se fait pas ; mais les graines ne sont pas mortes pour cela, et elles germent en revenant à l'air libre ou à la pression normale. Sous une plus haute pression, de 70 à 80,

l'acide carbonique tue les graines sur lesquelles même il ne se développe aucune moisissure.

En résumé : 1° La trop faible tension d'oxygène asphyxie les graines comme les animaux ; mais elle ne tue pas les graines et les empêche seulement de se développer.

2° La trop forte tension d'oxygène ralentit, puis arrête la germination, et enfin tue les graines qui ne germent plus quand on les ramène à l'air libre : les Crucifères sont sous ce rapport moins sensibles que les Graminées. Cette action correspond à une diminution dans la consommation de l'oxygène, sous l'influence de l'air comprimé.

3° L'acide carbonique, quand sa tension augmente, ralentit, puis arrête la germination et finit même par tuer les graines quand sa tension est suffisamment élevée.

Il résulte de ceci que c'est encore une hypothèse gratuite que de supposer les plantes des premiers âges géologiques en présence d'une atmosphère très-chargée d'acide carbonique, qu'elles auraient épurée graduellement; tout au moins, cette richesse en CO^2 de l'air ne devait pas être très-élevée.

Végétation. — Je n'ai fait d'expériences qu'avec des Sensitives : ces plantes remarquables non-seulement par les phénomènes de mouvement qu'elles présentent, mais par leur impressionnabilité aux circonstances extérieures, qui en fait comme une sorte de réactif habile à montrer les avantages ou les dangers des conditions dans lesquelles on les place. J'ai vu que, à la pression de 25 centimètres, elles meurent en une journée environ ; qu'à celle de 50, elles deviennent dans le même temps assez gravement malades. Avec 60 centimètres, elles continuent à se porter assez bien. Mais, comme je devais m'y attendre, à 25 centimètres de pression, dans de l'air très-oxygéné, elles vivent parfaitement bien.

Quant à la compression, celle de 6 atmosphères d'air les a tuées en vingt-quatre heures dans une de mes expériences; à 3 atmosphères, elles vivaient encore et étaient fort bien portantes au bout de quatre jours.

Il en est donc, en somme, de la végétation comme de la germination, et comme des phénomènes de la vie animale.

CHAPITRE VII.

CONSÉQUENCES GÉNÉRALES ET APPLICATIONS PRATIQUES.

Les conséquences générales des expériences qui précèdent pourraient être résumées dans cette formule bien simple : *Les modifications dans la pression barométrique n'ont d'influence sur la vie animale et sur la vie végétale que par les changements qu'elles apportent dans la tension de l'oxygène ambiant, et les changements qui en résultent dans les processus chimiques de la nutrition.*

Quant aux applications pratiques, elles découlent de cette formule générale, et se peuvent exprimer ainsi : *Combattre l'influence des modifications dans la pression, quand elles sont fâcheuses, par des modifications inverses dans la composition chimique de l'air, de telle sorte que la tension de l'oxygène ambiant reste à sa valeur normale* (20,9).

J'ai, comme on le voit, laissé de côté, dans ces formules, la question des modifications brusques de la pression, et celle de l'air confiné ; j'y reviendrai plus loin. Pour le moment, je me propose de passer en revue, en leur faisant l'application précise des formules ci-dessus et de leurs conséquences, les circonstances diverses dans lesquelles l'Homme est exposé à ces modifications de la pression barométrique, circonstances que j'ai énumérées dans le premier chapitre de ce travail.

§ 1.

Diminution de pression.

A. *Les aéronautes.* — Prenons le cas le plus simple, celui de l'aéronaute qui, *sans faire aucun effort*, est emporté par son ballon.

A mesure qu'il s'élève et que la pression diminue, son sang s'appauvrit en oxygène, comme le montrent les expériences qui précèdent : diminution bien faible d'abord, mais dont cependant mes analyses m'ont permis de démontrer l'existence dès que la pression n'est plus que de 56 centimètres. Ici même, la perte en oxygène ne saurait avoir une influence immédiate bien saisissable; la différence est de l'ordre de celles que l'on constate entre individus également bien portants, de l'ordre de celles qu'entraînent chez un même individu les changements légers dans le rhythme respiratoire, les états divers d'activité ou de repos, de digestion ou d'abstinence. L'aéronaute n'en peut rien sentir.

S'il s'élève davantage, l'appauvrissement en oxygène augmente : à 2000 mètres, il était en moyenne de 13 pour 100 ; à 3000, il devient de 21 pour 100 ; à 6500, de 43 pour 100 ; à 8800 mètres (25 centimètres de pression), hauteur à laquelle Glaisher, dans son ascension célèbre, tomba inanimé au fond de sa nacelle, cet aéronaute intrépide devait avoir perdu au moins la moitié de l'oxygène de son sang. Mes animaux, à 17 centimètres de pression, en avaient perdu 65 pour 100 : leur sang artériel n'en contenait plus que 7 volumes au lieu de 20, moins que du sang veineux qui sort d'un muscle en contraction. C'est un pareil sang qui, dans les artères, est, dans ces conditions, chargé de nourrir, d'animer les muscles, la moelle, les organes sensoriaux, le cerveau ! On se rappelle, en présence de ces faits, la célèbre expérience de Bichat sur l'influence du sang noir injecté dans les centres nerveux.

Les conséquences d'un pareil état de choses ne peuvent manquer d'être graves. Au début, la respiration s'accélère pour arriver à compenser ce qui manque en oxygène, et nous avons vu que 3 ou 4 volumes de ce gaz peuvent être ainsi introduits en plus ; les mouvements du cœur s'accélèrent également, et de ces troubles circulatoires résultent des accidents variés (palpitations, bourdonnements, hémorrhagies) que signalent les auteurs. Le sang noircit, et la face, devenue bleuâtre (Glaisher), ressemble à celle des asphyxiés. La pression du cœur ne baisse pas tout d'abord ; mais quand la dépression barométrique atteint

ses limites extrêmes, le muscle cardiaque, comme les muscles respiratoires contraints eux aussi au travail, et insuffisamment nourris par l'oxygène du sang artériel, se fatigue, sa pression diminue, ses mouvements se ralentissent, et la mort est imminente.

D'autre part, les phénomènes nutritifs sont singulièrement ralentis par l'insuffisance des oxydations, et le signe le plus remarquable en est l'abaissement considérable de la température. Je l'ai constaté chez mes animaux en expérience, alors que la température de l'air était tout à fait moyenne ; mais il est bien évident que le froid auquel sont soumis généralement les aéronautes dans les régions élevées doit agir dans le même sens, et mes expériences prouvent que dans l'air froid, la résistance à la dépression est moindre qu'à la température moyenne.

En même temps que la quantité d'oxygène, celle de CO^2 diminue dans le sang, bien que dans une proportion moins rapide. Je ne saurais, quant à moi, attacher une grande importance à ce fait. Rien de plus variable que la quantité de CO^2 qu'on trouve dans le sang artériel. Entre deux Chiens nourris de même et bien portants, je l'ai vue varier de 30 à 50 volumes; chez le même animal, elle change suivant les moindres influences de nourriture, d'agitation, etc., plus qu'entre les pressions de 76 centimètres et de 46 centimètres. Si donc il est possible que cette modification dans la richesse en CO^2 puisse avoir à la longue quelque influence sur les populations qui vivent sous une dépression habituelle, je crois pouvoir affirmer qu'elle n'est pour rien dans les accidents éprouvés par les aéronautes.

Peut-être même faudrait-il lui attribuer une certaine influence favorable, comme le pense M. Jourdanet. On devrait faire la même observation pour les autres substances gazeuses, connues ou inconnues, qui existent à l'état dissous dans le sang, surtout chez les habitants des villes, et qui doivent en sortir assez rapidement par le fait de la décompression.

Quoi qu'il en soit du rôle qu'on lui attribue, cette diminution de l'acide carbonique du sang est pour une forte part la conséquence de la diminution de l'oxygène lui-même. Je l'ai établi par

des expériences qui montrent bien nettement que les variations de l'acide carbonique, comme au reste tous les autres accidents de la décompression, apparaissent chez les animaux auxquels, à la pression barométrique normale, on fait respirer de l'air pauvre en oxygène. Si bien que l'aéronaute, dans sa course ascensionnelle, est exactement dans les mêmes conditions que si, sans changer la pression, on le forçait à respirer un air où la proportion d'oxygène irait toujours en diminuant. L'animal enfermé dans une cloche sous courant d'air graduellement raréfié présente, à tous les points de vue, les mêmes phénomènes que l'animal qui respire dans une enceinte fermée, épuisant graduellement l'oxygène de l'air, lorsqu'on lui en enlève l'acide carbonique au fur et à mesure qu'il le produit. La comparaison s'établit en rapprochant la pression barométrique variable de la richesse oxygénée variable par les équivalences suivantes : $\frac{76^c}{2}$ valent $\frac{20,9}{2}$ d'oxygène; $\frac{76}{3}$ valent $\frac{20,9}{3}$, etc.

Ainsi, la limite inférieure mortelle pour les Oiseaux, même pour ceux de haut vol, est, d'après mes expériences, d'environ 15 centimètres; pour les Chiens, elle est de 8 à 10 centimètres. Or, dans l'air confiné, dans l'asphyxie vraie, à la pression normale, ces animaux laissent de 3 à 4 (Oiseaux) pour 100 d'oxygène dans l'air, ou de 2 à 3 (Chiens). Ces tensions, ces chiffres concordent parfaitement, comme le montre la proportion $76:9::20,9:x = 2,5$.

Donc, la mort par diminution de pression est une simple asphyxie, et les troubles qui la précèdent sont identiques, dans leur cause et leur symptomatologie, aux troubles asphyxiques.

Une conséquence pratique assez intéressante résulte de cette constatation et des faits expérimentaux rapportés dans le présent travail. C'est qu'on peut éviter ou plutôt retarder ces troubles, et la mort qui les suit, en respirant sous la même dépression non de l'air ordinaire, mais un air suroxygéné, de façon à ramener la tension de l'oxygène à un degré supportable. Les expériences ont montré que l'on peut ainsi gagner assez aisément

10 centimètres de pression, la mort des Oiseaux, dans l'oxygène, n'arrivant guère qu'à 5 ou 6 centimètres.

Si donc les aéronautes qu'arrête dans leur course verticale non la force ascensionnelle du ballon, mais la possibilité de vivre, veulent monter plus haut qu'ils ne l'ont fait jusqu'ici, ils le pourront aisément en emportant avec eux un réservoir, un petit ballon, plein d'oxygène, qu'ils se mettront à respirer aussitôt que surviendront les troubles généraux. Ils pourront sans doute, eux aussi, gagner 10 centimètres de dépression, ce qui, à ces niveaux élevés, correspond à une hauteur de plusieurs kilomètres. Rien de plus simple que d'imaginer un système d'ajutages, de soupapes et de flacons laveurs à potasse, qui permettrait d'utiliser jusqu'au dernier litre de l'oxygène emporté. Un ballon contenant 300 litres d'oxygène pur, que l'aéronaute inspirerait simplement (rejetant l'expiration au dehors), suffirait à entretenir sa vie pendant au moins une demi-heure, car il suffirait de faire dans le sac une inspiration sur deux ou trois, excepté aux très-grandes hauteurs.

Je n'ai attribué, on le voit, aucun rôle à la décompression en tant qu'agent physico-mécanique. Je serais cependant porté à croire que, lorsqu'elle est très-soudaine, la dilatation des gaz intestinaux peut être pour quelque chose dans le malaise. Cependant il est constant que, si rapide que soit la marche ascensionnelle du ballon, les aéronautes n'éprouvent presque rien jusqu'à 4000 mètres. La dilatation ne fait donc pas grand'chose.

Il serait possible qu'aux dépressions extrêmes, chez les Mammifères, l'appareil respiratoire soit mécaniquement impressionné pour la raison suivante. Les poumons sont doués d'une rétractilité élastique qui, après l'expiration, correspond, suivant Carson, chez les Veaux et les Chiens, à 30 à 40 centimètres d'eau; mais quand le poumon est insufflé, cette rétractilité vaut un peu plus du double. Or, quand un animal fait une inspiration, si les poumons suivent la paroi thoracique, cela tient à ce que la pression atmosphérique les maintient, et qu'il faudrait, au niveau du sol, pour faire le vide dans la plèvre, triompher d'une résistance de 76 centimètres de mercure. Mais si la pression de

l'air est réduite à un chiffre inférieur à celui qui exprime la rétractilité pulmonaire, le poumon restera recroquevillé sur lui-même, malgré l'inspiration, et il se fera un vide dans la cavité de la plèvre. C'est probablement ce qui est arrivé aux Chiens dont j'ai parlé page 77, et dont les poumons étaient carnifiés : une petite déchirure avait suffi pour réintroduire de l'air dans la cavité pleurale.

Sans aller jusque-là, on comprend qu'aux très-basses pressions, la tendance au retour du poumon sur lui-même, moins énergiquement combattue par la pression, soit une cause de difficultés respiratoires qui amène les congestions et les hémorrhagies. Mais il suffit de quelques centimètres de mercure en excès, pour maintenir appliqués l'un sur l'autre les deux feuillets pleuraux.

B. *Voyageurs en montagnes*. — Le voyageur qui gravit le flanc d'une montagne diffère de l'aéronaute par la dépense de force qu'il fait pour s'élever.

Cette force, il est obligé de la tirer des transformations chimiques de ses tissus, et, en définitive, de l'oxygène de son sang.

Aussi n'est-il pas étonnant de voir que le *mal des montagnes* arrive à des niveaux notablement moins élevés que le malaise des aéronautes; il est généralement assez intense à 4000 mètres (45 centimètres de pression); presque tout le monde l'éprouve au sommet du Mont-Blanc (4800 mètres; 41 centimètres de pression). Ce n'est qu'au prix des plus vives souffrances que Boussingault a pu atteindre sur le Chimboraço la hauteur de 6000 mètres (36 centimètres), et que les frères Schlagintweit sont arrivés sur l'Ibi-Gamin à 7400 mètres (30 centimètres) : encore ces courageux voyageurs étaient-ils déjà acclimatés par un assez long séjour sur les hauts lieux.

Les faits présentés dans mes expériences par les Oiseaux qui, pour s'être agités, sont menacés de mort par une décompression qui rend à peine malade leur voisin plus tranquille; l'impossibilité pour eux de se mouvoir, à partir d'une certaine depression ; — et, chez les voyageurs, la lassitude extrême, la nécessité de s'arrêter presque à chaque pas, l'amélioration qui

suit le repos, surtout le repos horizontal, tout cela s'explique parfaitement d'après la connaissance que nous avons de la pauvreté du sang en oxygène sur les grandes hauteurs.

Mais disons-le tout d'abord, il faut éliminer complétement l'explication donnée par Gavarret, acceptée par Leroy de Méricourt, par G. Sée, etc., et basée sur une sorte de saturation du sang par l'acide carbonique produit en excès (voy. page 12). Bien loin qu'il en soit ainsi, mes analyses n'ont montré que, même chez les animaux mal attachés sur leur cadre, et qui, se remuant sans cesse, contractaient fortement leurs muscles, que toujours, en un mot, l'acide carbonique diminue, bien loin d'augmenter. Sans doute, le calcul de Gavarret est exact, et un homme qui a gravi 2000 mètres de hauteur a dû, pour suffire à ce travail, fabriquer 65 litres de CO^2 en sus des 22 qu'il forme par heure pour l'entretien de sa propre température, et Gavarret aurait pu ajouter que ce chiffre est encore augmenté par l'influence du froid des hauteurs.

Mais comment ce savant physicien n'a-t-il pas vu que, d'après sa théorie, il suffirait de monter à plusieurs reprises sur une colline de quelques centaines de mètres de hauteur pour avoir le *mal des montagnes;* car ce mal frappe les voyageurs à la descente presque aussi durement qu'à la montée? Comment n'a-t-il pas vu qu'on monte impunément de Chamounix aux Grands-Mulets (2000 mètres de différence), tandis que du Grand-Plateau au sommet du Mont-Blanc (1900 mètres) les troubles deviennent très-rapidement insupportables pour la plupart des voyageurs? Ici, après un repos qui a ramené le calme parce que, selon M. Gavarret, le CO^2 en excès a pu s'éliminer du sang, il suffit de monter un peu rapidement 50 mètres pour être obligé de s'arrêter. Y aurait-il donc plus de CO^2 produit pour grimper 50 mètres sur le Mont-Blanc que pour grimper sur la butte Montmartre, où jamais, que je sache, on n'eut le *mal des montagnes?* Mais il serait oiseux de discuter davantage en présence du résultat formel des expériences. Et si j'ai autant insisté, ce n'est pas pour rendre plus évidente l'erreur d'un maître que je respecte, mais pour montrer combien la question dont je

m'occupe ici présentait d'obscurités, même pour les hommes les plus autorisés.

Revenons donc à notre voyageur. A mesure qu'il monte, son sang devient plus pauvre en oxygène : c'est peu de chose d'abord, et il en a toujours assez à sa disposition pour produire les efforts nécessaires à sa marche ascensionnelle ; seulement sa respiration, ses mouvements cardiaques s'accélérant plus qu'ils ne feraient en présence d'efforts semblables, mais avec une richesse moyenne d'oxygène, compensent ainsi un peu l'effet de la dépression.

Mais, lorsqu'il est arrivé à une certaine hauteur, la faible provision d'oxygène contenue dans son sang artériel ne lui suffit plus, ou du moins ne lui suffit pas longtemps. On sait que, entre le sang artériel qui entre dans un muscle et le sang veineux qui en sort pendant la contraction, il y a une différence d'environ 12 volumes d'oxygène (Cl. Bernard) : de 20, par exemple, la proportion d'oxygène tombe à 8. Supposons donc un cas extrême ; plaçons notre voyageur à une telle hauteur, qu'il n'ait plus que 10 à 12 volumes d'oxygène dans le sang artériel : chez les Chiens, cela arrive aux environs de 38 centimètres, correspondant à 5500 mètres. Dans ces conditions, il ne peut évidemment trouver dans son sang artériel la quantité d'oxygène nécessaire pour entretenir son travail musculaire : la première contraction d'ensemble aura tout épuisé ; le sang qui reviendra au cœur droit sera presque absolument dépouillé d'oxygène, et les échanges respiratoires ne ramèneront dans le sang artériel qu'une quantité d'oxygène moindre encore que celle qui s'y trouvait après la phase de repos. Si donc il a pu faire un petit effort, il est forcé de s'arrêter aussitôt, sous peine d'asphyxier : aussi s'arrête-t-il, et le sang veineux qui sort des muscles en repos, contenant encore une assez notable quantité d'oxygène, peut aller dans les poumons en prendre une quantité qui fera remonter suffisamment la proportion centésimale. Nouvel effort possible alors, suivi bientôt de nouvel arrêt.

C'est ce qui est arrivé à tous les voyageurs parvenus aux limites supérieures de leur ascension ; c'est ce qui est arrivé

à Glaisher l'aéronaute, par 8500 mètres, lorsque, sentant tout à coup son bras paralysé, il voulut se soulever sur son siége : soudain il retomba, inerte, aveugle et presque aussitôt sans connaissance. Il avait, par ce dernier effort, emprunté à son sang artériel, déjà si extraordinairement appauvri, presque tout son oxygène, et l'asphyxie l'avait aussitôt frappé !

A de moindres élévations, les mêmes phénomènes se produisent, avec une intensité moindre et des conséquences moins redoutables. L'écart moyen de 12 volumes d'oxygène doit de toute nécessité se conserver entre le sang artériel et le sang veineux du muscle en contraction, puisqu'il représente la force dépensée, qui est la même partout; il en résulte que les organes sont baignés par un sang dont la pauvreté en oxygène ne peut être sans action sur leur nutrition intime.

Celle-ci se ralentit alors, et la température s'abaisse. J'ai obtenu ce refroidissement, je le rappelle, dans l'air à la température normale, sans que l'animal fît aucun effort, par le seul effet de la décompression. Mais il est bien évident que lorsque l'organisme est contraint de lutter contre une température aussi basse que celle que rencontrent les aéronautes et les voyageurs alpestres, il y a là une aggravation des causes refroidissantes, que vient encore compliquer la dépense de travail nécessitée par l'élévation du poids du corps.

C'est évidemment cette nécessité de lutter contre le froid, cause nouvelle de consommation d'oxygène, cause nouvelle d'appauvrissement du sang, qui explique, pourquoi dans nos Alpes glaciales, le mal des montagnes frappe la plupart des voyageurs à des hauteurs qui sont dans les Cordillères tout à fait inoffensives : ici la limite des neiges perpétuelles est par 4800 mètres; là, par 2700 seulement. Il faut, dans les Alpes, pourvoir au réchauffement du corps en même temps qu'aux efforts musculaires de la marche.

Les voyageurs ont tous remarqué qu'il existe, entre les divers individus, des différences considérables relativement au malaise éprouvé. C'est ce que j'ai constaté, du reste, dans mes expériences sur des animaux de même espèce et aussi semblables

que possible. L'analyse des gaz du sang artériel nous montre des inégalités tout à fait de même ordre, et qui sont certainement la cause prochaine de ces différences. Ainsi, à 36 centimètres de pression, un de mes Chiens (n° 10) avait perdu 55,6 pour 100 de l'oxygène de son sang ; un autre (n° 11) n'en ayant perdu que 36,1 (tabl. VIII, col. 13, p. 55) : ils étaient cependant arrivés à peu près au même chiffre (8,5 et 8,9 ; col. 7). Un autre de mes Chiens a fait preuve (exp. 2, 5, 19), au début de la décompression, d'une résistance très-remarquable : à 56 centimètres, il n'avait perdu que 3,2 pour 100 de son oxygène ; à 46, que 5,5, conservant la proportion élevée de 20,3 ; mais à 22 centimètres, il est retombé dans la moyenne, perdant 50 pour 100 de son oxygène, et n'en ayant plus que 10,7 volumes dans le sang artériel.

L'inspection attentive du tableau de la page 55 montre sous ce rapport beaucoup d'inégalités intéressantes ; mais on ne saurait y trouver les raisons de ces inégalités. Ni la vigueur des animaux, ni la richesse primitive de leur sang en oxygène, ne sauraient servir d'explication constante. Mais ces différences peuvent s'expliquer, ce me semble, par le raisonnement suivant :

J'ai montré que le sang artériel, à la pression barométrique normale, n'est jamais saturé de l'oxygène qu'il peut dissoudre ; des variations dépendant du rhythme respiratoire et de maintes autres conditions ont été constatées après moi par plusieurs expérimentateurs (Gréhant, Mathieu et Urbain) ; généralement il manque à la saturation, pour 100 volumes de sang, de 3 à 7 volumes d'oxygène, et une respiration très-active peut arriver à recouvrer cet oxygène manquant (voyez l'expérience rapportée à la page 47). Lors donc que, la pression s'abaissant, l'air, plus léger, apporte au poumon et au sang, dans le même temps, une quantité moindre d'oxygène, il y aura une grande différence dans la quantité de ce gaz qui sera absorbée, suivant que la respiration aura conservé son type premier ou se sera accélérée. Or, si, d'une manière générale, la rapidité de la respiration augmente quand la pression diminue, les graphiques des pages 70 et 71 sont là pour prouver qu'il y a de nombreuses exceptions à cette loi, surtout quand l'expérience dure longtemps.

Si donc, au fur et à mesure que la pression baisse, l'animal augmente dans une progression inverse le nombre de ses respirations et aussi la rapidité de ses mouvements cardiaques, la richesse du sang en oxygène ne diminue que très-lentement. Si, au contraire, il conserve un rhythme voisin de celui qu'il possédait d'abord, l'oxygène diminuera plus rapidement dans son sang. Enfin, aux basses pressions, la diminution est fatale, car, à demi-atmosphère par exemple, il serait impossible de doubler le nombre de ses respirations en leur conservant l'amplitude primitive.

Une autre différence fort remarquée aussi, est celle qui distingue les guides ou les voyageurs habitués aux ascensions d'avec les voyageurs *accidentels*. Ici l'explication est facile. L'habitude de marcher en montagnes, comme toutes les gymnastiques, enseigne à ne mettre en jeu que les muscles dont l'action est vraiment nécessaire; les novices, au contraire, à propos d'un mouvement, contractent maints muscles qui n'ont rien à faire avec lui. Quoi d'étonnant que, dépensant inutilement leur réserve d'oxygène déjà si restreinte, ils éprouvent des malaises au moment où de plus sages économes ne souffrent pas encore?

Il y a en outre une habitude, une accoutumance qui se prend sur place et assez rapidement. J'ai vu souvent mes animaux, devenus très-malades par une dépression rapide, s'habituer en quelque sorte à cet état, et reprendre un aspect tranquille. Des faits semblables ont été constatés par beaucoup de voyageurs. Les frères Schlagintweit, d'abord fort impressionnés par des hauteurs de 5000 à 6000 mètres, en étaient arrivés, après plusieurs jours, à supporter sans grands malaises une hauteur de 6300 mètres. Ils étaient devenus des habitants réguliers des hauts lieux (voyez plus loin).

Les troubles du mal des montagnes disparaissent très-vite quand on descend des hauteurs; très-vite aussi, je l'ai vu souvent dans mes expériences, la proportion normale de l'oxygène reparaît dans le sang. Cela est absolument en série.

Ce qui n'est pas moins en série, c'est la coïncidence remarquable que nous fournissent les faits observés dans les ascensions

en montagnes avec le seul fait connu dans lequel des hommes aient été soumis à un air pauvre en oxygène, sans intervention d'acide carbonique. Ce dernier fait a été observé, comme je l'ai déjà dit (page 79), par M. F. Leblanc dans les mines pyriteuses de Huelgoat, en Bretagne. Dans des galeries où l'air ne contenait plus que 10 pour 100 d'oxygène, et où il était entré sans transition, il a ressenti des vertiges et des défaillances. Or, la tension de l'oxygène correspondait alors à peu près à celle de l'air à 5700 mètres de hauteur, là où certes le mal de montagnes frapperait avec une grande violence celui qui s'y exposerait brusquement.

C. *Habitants des hauts lieux.* — On compte des millions d'hommes vivant au niveau et au-dessus de 2000 mètres, au Mexique et dans l'Amérique méridionale; les grandes villes de la Cordillère sont situées par 2500 et 3000 mètres; Daba, au Tibet, est par 5000 mètres environ.

Les expériences qui précèdent prouvent que, à moins de supposer dans le sang des habitants de ces pays une quantité d'hémoglobine plus grande que dans le sang des habitants de la plaine, ceux-ci ont à leur disposition plus d'oxygène que ceux-là.

Or, rien ne permettant jusqu'ici d'admettre cette hypothèse, la conclusion est que les habitants des hauts lieux sont, suivant l'expression du docteur Jourdanet, *anoxyhémiques*, anémiques par manque non de globules, mais d'oxygène.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer en outre que bien évidemment ces habitants des régions élevées ne peuvent point, imitant les aéronautes ou les animaux de mes expériences, compenser par une accélération respiratoire l'influence de la moindre quantité d'oxygène qui circule dans leurs poumons pendant un temps donné; ils s'épuiseraient à cette gymnastique.

On conçoit bien que des individus dont le sang artériel contient ainsi 10 à 15 pour 100 d'oxygène en moins finissent par présenter une série de troubles physiologiques qui leur imprime un caractère particulier, et pour ce qui est des maladies, une constitution médicale particulière. Mais on comprend aussi que les dépenses de l'organisme se réglant avec plus d'économie,

certains montagnards puissent arriver à tirer de la quantité moindre d'oxygène qu'ils ont à leur disposition un parti aussi utile que le peuvent faire les habitants des bords de la mer. Ils sont, par rapport à ceux-ci, dans la même situation que les paysans robustes à qui une faible quantité d'aliments permet d'exécuter un travail considérable, qui imposerait au citadin la nécessité d'une nourriture beaucoup plus réparatrice. Il me paraît certain que, chez l'homme oisif et aisé, il se fait un dégagement chimique de forces de beaucoup supérieur à ce dont il a besoin pour l'accomplissement de ses divers travaux mécaniques et la conservation de son équilibre thermique ; le reste se perd en chaleur, en évaporation, etc. On conçoit, je le répète, qu'il puisse y avoir quelque chose d'analogue au point de vue de l'oxygène, et cette double considération permet de mettre d'accord des observateurs qui, comme M. le docteur Jourdanet, ont reconnu chez les habitants des hauts lieux tout un appareil physiologo-pathologique relevant de l'anémie, avec ceux qui, comme M. Boussingault, font remarquer l'étonnante vigueur des habitants de Quito, et rappellent les combats livrés dans les Andes par 4000 mètres de hauteur.

La diminution en proportion du CO^2 du sang, si faible qu'elle soit, ne peut laisser d'être sans intérêt pendant la durée d'une vie entière. A composition chimique semblable, le sang sera un peu plus alcalin sur les hauteurs que dans la plaine près de la mer. D'autre part, le CO^2 étant, comme je l'ai montré, un obstacle aux combustions intra-organiques, sa diminution peut activer celles-ci, et l'on conçoit qu'il en résulte une énergie particulière, en présence même d'une moindre quantité d'oxygène dans le sang. C'est, du reste, ce qu'avait déjà dit M. Jourdanet pour le séjour prolongé sur les faibles hauteurs.

Mais ces faits et ces considérations sortent du domaine des expériences physiologiques, des expériences de laboratoire, dans l'exposé et la discussion desquelles je tiens essentiellement à me renfermer. Je m'arrête donc, non sans faire remarquer que, malgré les attaques dont elle a été l'objet, la théorie de

M. Jourdanet sur la diminution de l'oxygène du sang dans l'air déprimé est absolument démontrée par les faits expérimentaux.

§ 2.

Augmentation de pression.

Dans l'étude des phénomènes et souvent des accidents que présentent les ouvriers soumis à une même augmentation de pression de 2 à 5 atmosphères, les médecins ont continuellement confondu ce qui appartient à la *compression* avec ce qui appartient à la *décompression*.

La compression a pour effet d'augmenter dans le sang la proportion de l'azote, ce qui est probablement sans importance, et aussi la proportion de l'oxygène, ce qui est plus grave; l'acide carbonique n'est par elle nullement influencé au début.

J'ai montré comment l'introduction de l'oxygène en excès, lorsqu'elle arrive à une certaine dose, est l'occasion d'accidents redoutables, de convulsions qui, à une dose plus élevée encore, se terminent par la mort. Je rappelle que la dose mortelle n'équivaut pas au double de la proportion qui existe normalement dans le sang artériel.

L'action de l'oxygène se porte sur le système nerveux et rappelle celle des poisons convulsivants. Cette influence sur le système nerveux central est la conséquence d'un trouble profond dans les actes chimiques de la nutrition, et tout semble démontrer, comme je l'ai assez longuement établi, que les oxydations intra-organiques sont enrayées par l'excès d'oxygène. Il y aurait là quelque chose qui rappelle de loin la combustion du phosphore s'arrêtant dans l'air comprimé.

Les accidents convulsifs apparaissent chez les Mammifères, dans des cas rares, il est vrai, dès la pression de 10 atmosphères d'air. Or, des ouvriers ont travaillé à 5 atmosphères. Il est donc permis de supposer que l'oxygène, à une dose si voisine de la dose convulsive, doit être à la longue la cause, chez eux, de troubles plus ou moins importants. Je crois, notamment, que c'est à lui qu'il convient de rapporter les phénomènes anémiques

et dyspeptiques, et l'espèce de cachexie que présentent après un certaintemps les ouvriers des tubes.

C'est à lui que je n'hésite pas à rapporter également les améliorations dans certains états pathologiques qui ont été constatés chez les ouvriers des tubes, et dont la thérapeutique par l'air comprimé a fait un si utile usage. Les ouvriers atteints de certaines inflammations de la muqueuse respiratoire voient leur état, soudain, amélioré par l'entrée dans les tubes, et l'on n'a pas craint, à l'encontre de la physique, d'expliquer ce mieux-être par un écrasement de la muqueuse, d'où résulterait un ralentissement de la circulation dans les parties enflammées. J'ai insisté déjà sur cette erreur dans le chapitre préliminaire de ce travail.

Pour moi, après avoir vu de très-hautes doses d'oxygène produire des effets aussi violents, je ne m'étonne pas que des doses beaucoup plus faibles aient sur l'organisme une action de cette valeur. Les doses mortelles m'ont paru, entre autres symptômes, supprimer la sécrétion urinaire et augmenter les sécrétions buccales; elles diminuent considérablement les phénomènes calorigéniques. Rien d'étonnant, je le répète, que de moindres doses arrêtent les phénomènes inflammatoires.

Ce que je reproche surtout aux médecins qui ont observé les ouvriers des tubes, c'est d'avoir fait la confusion dont je parle en tête de ce paragraphe. Quand ils auront, en s'appliquant à ce sujet, éliminé les effets de la décompression brusque dont je me suis assez longuement occupé au chapitre V pour n'y plus revenir (voy. page 106), leurs observations constitueront précisément la base de la description des effets de l'oxygène à doses trop élevées.

Mon rôle, à moi physiologiste, se bornait, après avoir constaté le premier cette étrange action de l'oxygène, à en analyser les effets dans leurs manifestations violentes. J'ai étudié l'oxygène-poison comme nous étudions la strychnine, le curare, etc... Mais les phénomènes produits par de faibles doses, pendant des temps prolongés, sans sortir du domaine de la physiologie, rentrent dans la sphère d'action du médecin et de l'hygiéniste : ils échappent à nos laboratoires, et l'on ne peut guère les observer

que sur l'homme. On doit ici s'attendre à des constatations inattendues :qui aurait pu deviner, en voyant un animal mourir somnolent et convulsivé sous l'influence de hautes doses de morphine, que cette substance, à faible dose, arrêterait les flux intestinaux? La région physiologique exploitée par le vivisecteur en son laboratoire est nécessairement autre que celle où observe et expérimente le médecin dans l'atelier ou l'hôpital. Je n'insiste donc pas pour tenter d'expliquer des problèmes qui ne sont même pas nettement posés.

Il est cependant un point sur lequel je dois faire quelques réflexions : quand l'oxygène diminue notablement dans le sang, les combustions se ralentissent et la température s'abaisse; quand il augmente considérablement, le même effet semble se produire. Mais ici se pose naturellement la question : A quel moment, sous quelle pression, avec quelle dose d'oxygène se produit le maximum d'effet utile, et arrive le dégagement de calorique, soit à son maximum absolu, soit à son meilleur mode d'emploi? Où est, pour ainsi dire, le sommet de la courbe du bien-être qui va toujours en montant, d'un côté depuis les très-basses, de l'autre depuis les très-hautes pressions?

Évidemment ce maximum correspond aux environs de la pression normale. Mais, pour les divers individus, on conçoit qu'il puisse se trouver un peu au delà ou en deçà, en raison de la complication des conditions présentées par les divers organismes, conditions que la physiologie est encore impuissante à démêler. De là vient sans doute l'identité de l'action thérapeutique opérée par des moyens diamétralement inverses : telle l'amélioration des asthmatiques et des emphysémateux d'une part dans les cloches à air comprimé, d'autre part sur les hauts plateaux mexicains; telle la guérison des anémies par un air légèrement comprimé (10 centimètres en plus), ou par le séjour dans nos petites montagnes d'Auvergne et du Jura (10 centimètres en moins).

En outre, ce maximum d'action utile correspond sans doute, pour la majorité des hommes bien portants, aux conditions de tension oxygénée dans lesquelles ils se trouvent placés depuis

longtemps ; mais on conçoit que chez certains individus ce maximum puisse se déplacer à la suite d'un assez long séjour dans des conditions différentes de tension oxygénée, tandis que chez d'autres il ne le puisse pas : les premiers s'acclimatent, comme on dit, les autres non. Ici les mots vagues de tempérament, de constitution, de races, d'aptitudes, reprennent tout leur empire. Mais ici finit en même temps le rôle de la physiologie. Il lui suffit d'avoir indiqué comme possible et compréhensible que certains habitants des plaines puissent ou ne puissent pas s'acclimater sur la montagne, et que certains montagnards puissent ou ne puissent pas s'acclimater sous la pression maximum des bords de la mer : sans parler, bien entendu, des changements thermométriques, hygrométriques, électriques, etc., auxquels dans ces déplacements verticaux ils seront exposés.

Quelques médecins m'ont objecté que mon explication purement chimique des effets de l'air comprimé n'est pas en rapport avec ce que l'on a observé en faisant respirer l'oxygène, soit à des malades, soit à des hommes bien portants. Je n'entrerai pas dans la discussion de détail ; mais je demande comment on peut comparer l'influence de la respiration d'oxygène pur, correspondant à 5 atmosphères de pression, pendant quelques minutes, avec la respiration d'un air légèrement comprimé pendant plusieurs heures ; il faudrait, pour établir une comparaison, faire respirer pendant ce temps de l'air contenant de 25 à 50 pour 100 d'oxygène.

Enfin, avant de quitter ce sujet, je veux indiquer une application pratique qui pourrait avoir une grande importance dans certaines industries. Lorsque les plongeurs à scaphandre veulent descendre au delà de 50 mètres, ils éprouvent des douleurs de poitrine qui les arrêtent (Denayrouze, communication verbale) ; les ouvriers des tubes, quand on a tenté de dépasser 5 atmosphères, ont éprouvé les mêmes sensations. Celles-ci sont dues incontestablement à l'action de l'oxygène en excès ; je rappelle qu'à 10 atmosphères j'ai vu des Chiens et des Lapins mourir avec des convulsions.

Rien de plus simple que de parer à cet inconvénient ; il suffira

d'injecter, en faisant la pression, de l'air assez pauvre en oxygène, pour que la tension de ce gaz ne dépasse pas beaucoup 21. Les dispositions mécaniques qu'il faudrait prendre ne paraissent pas devoir présenter de bien grandes difficultés, excepté peut-être pour les plongeurs à scaphandre, qui changent incessamment de pression. Quant au gaz avec lequel il conviendrait de diluer l'air, on pourrait choisir entre l'azote et l'hydrogène, qui se préparent aujourd'hui à assez bon marché : pour l'hydrogène, par la décomposition de l'eau (appareil Giffard); pour l'azote, par la décomposition de l'air (appareil Tessié du Motay, renversé). Je n'ai pas qualité pour aller plus loin dans la solution pratique de ce problème; il me suffit de l'avoir posé et théoriquement résolu.

Mais si l'on réalise ce que j'indique, si l'on envoie les plongeurs par 80 ou 100 mètres, c'est alors qu'il faudra s'entourer, dans la décompression, de précautions minutieuses. Je ne puis pas évaluer à moins de douze minutes par 10 mètres le temps qu'il faudra mettre pour remonter à la surface : deux heures pour 100 mètres. Peut-être même ce temps ne sera-t-il pas suffisant, car c'est l'azote du sang qui constitue le danger, et un air à 10 atmosphères, qui devra en contenir 98 pour 100, en cédera évidemment plus au sang que l'air normal. Mais ce n'est ici qu'une difficulté secondaire, pour triompher de laquelle il suffira de prudence et de patience.

Je crois devoir terminer ce travail par l'indication succincte de quelques questions physiologiques plus ou moins directement en rapport avec mon sujet et sur lesquelles mes expériences ont jeté quelque lumière.

QUESTIONS DIVERSES.

Je rappelle d'abord que l'intervention d'une chaleur élevée dans l'extraction des gaz du sang m'a permis d'obtenir en moyenne un peu plus d'oxygène et notablement plus de CO^2 que ne l'ont fait jusqu'ici les auteurs; j'arrive à ce résultat que les acides ne dégagent ensuite presque plus d'acide carbonique.

A. — Le défaut d'oxydation sous l'influence d'une moindre tension d'oxygène n'a rien qui puisse surprendre; mais il en est autrement pour l'influence d'une tension exagérée. Si je n'ai pas complétement et absolument prouvé qu'elle diminue les oxydations, au moins ai-je montré qu'elle abaisse la température. Le fait curieux que la germination est par elle entravée, que les graines sont tuées, est de nature à éclairer, le mécanisme chimique de cette action paradoxale de l'oxygène. Je me dispose à faire, dans ces conditions nouvelles, des expériences de fermentation avec les ferments qui empruntent l'oxygène de l'air, persuadé, comme MM. Cl. Bernard, Pasteur, Robin, que la fixation de l'oxygène sur les globules, que les oxydations intra-organiques, sont tout à fait de l'ordre des fermentations. La mort des animaux sans globules sanguins, la mort des graines, montrent la généralité de l'influence d'un excès d'oxygène.

B. — Les nombreuses analyses des gaz du sang que j'ai faites m'ont montré, entre des animaux d'apparence identique, de très-notables différences, quant à la quantité d'oxygène contenue dans un même volume de sang. Des différences semblables doivent exister entre les hommes. Elles sont probablement dues pour la plupart à une différence dans la quantité des globules du sang; mais il se peut que les globules sanguins ne contiennent pas toujours la même quantité d'hémoglobine, ou encore que l'hémoglobine soit chargée d'oxygène à différents degrés.

J'indiquerai ici ce fait que, chez les tout jeunes Chiens bien portants, le sang artériel ne contient que 8 à 10 volumes d'oxygène : les jeunes animaux sont donc anémiques par qualité et par quantité.

C. — D'après Fernet, le sang absorbe 47 volumes de CO^2 pour 100 volumes de sang à l'état combiné. Or, j'ai montré que, par suite de la rapidité extrême de la respiration avec la trachée ouverte, ce chiffre peut être abaissé des trois quarts. D'autre part, l'agitation du sang avec l'air, *in vitro*, ne peut faire sortir qu'une faible quantité de CO^2. Ces faits devront être étudiés de près par ceux qui croient à l'existence dans le poumon

de substances jouant le rôle d'acide, et aidant au dégagement de l'acide carbonique par la destruction des bicarbonates et des phospho-carbonates. Évidemment, l'accélération des mouvements respiratoires et celle de la circulation qui l'accompagne ont pour résultat de rendre plus parfaite l'agitation du sang avec l'air des alvéoles, qu'une ventilation plus énergique a dépouillé de la plus grande partie de son acide carbonique. Il s'ensuit une dissociation des bicarbonates, qui ne peut plus étonner personne depuis les travaux de MM. H. Rose et H. Sainte-Claire Deville.

D. — Quand l'acide carbonique augmente en tension dans l'air extérieur, sa proportion augmente dans le sang suivant une marche qui ne s'éloigne pas beaucoup de la loi de Dalton (graphique XVI, page 97). La limite de saturation paraît être d'environ 130 volumes, ce que j'ai obtenu directement. Cette limite doit dépendre, bien entendu, de la quantité d'acide carbonique que sont capables de fixer les carbonates et les phosphates alcalins du sang, dont la proportion varie avec les animaux.

Il résulte pour moi, de mes nombreuses analyses, la presque certitude que la respiration normale, régulière, ne fait qu'enlever au sang veineux de l'acide carbonique dissous : la proportion qui reste dans le sang artériel représentant presque uniquement l'acide carbonique combiné. Mais quand la respiration se fait dans des conditions extraordinaires, il arrive tantôt que les combinaisons de l'acide carbonique sont dissociées, comme il vient d'être dit plus haut, tantôt au contraire qu'il reste dans le sang artériel plus ou moins d'acide carbonique dissous.

E. — Les variations des proportions de CO^2 dans le sang d'un individu à un autre et, chez le même individu, dans des circonstances physiologiques différentes, sont de beaucoup supérieures à celles que peut occasionner le séjour dans des lieux confinés (théâtres, etc.) où la proportion de CO^2 dans l'air atteint 2 ou 3 centièmes. C'est à la diminution de l'oxygène dans l'air, puis dans le sang, qu'il faut surtout attribuer les troubles qui surviennent alors, sans parler des émanations sur lesquelles M. Gavarret a si justement appelé l'attention.

F. — Il résulte de mes expériences qu'en plusieurs circonstances l'absorption d'oxygène n'a pas pour conséquence immédiate la fabrication et la sortie de CO^2, ce qui prouve une série d'intermédiaires dans laquelle peut s'arrêter transitoirement le travail d'oxydation.

Mais je dois ajouter que, dans du sang confiné en vases clos, l'oxygène consommé est remplacé par une quantité identique de CO^2 produit. De plus, si on laisse dans le vide du sang dont les gaz ont été extraits, je n'y ai plus vu se former, même jusqu'à la décomposition, de nouvel acide carbonique. Les oxydations en voie de développement s'arrêtent donc lorsqu'elles ne sont plus, en quelque sorte, poussées par une sorte de *vis à tergo* par l'oxygène libre du sang.

Ces résultats sont contraires à ce qu'on enseigne généralement.

G. — La coloration rouge du sang est, d'une manière générale, en rapport direct avec sa richesse en oxygène. La présence de l'acide carbonique n'y fait absolument rien ; du sang contenant à la fois 20 volumes d'oxygène et 100 volumes de CO^2 est parfaitement vermeil.

Mais j'ai vu dans quelques cas du sang très-rouge être moins riche en oxygène que du sang notablement plus violet. Cela tient à ce que, ce qui est rouge, c'est la combinaison de l'oxyhémoglobine, d'autant plus rouge en effet qu'elle contient plus d'oxygène. Si donc on suppose deux sangs, l'un très-riche en hémoglobine, l'autre moins, et contenant tous les deux la même quantité d'oxygène, le second sera plus rutilant que le premier. C'est ainsi qu'il m'est arrivé, après une copieuse saignée, de trouver un sang plus rouge ou aussi rouge qu'avant, bien que notablement moins riche en oxygène ; seulement, la teinte était plus claire, parce que le sang était moins chargé en globules.

H. — J'ai, à plusieurs reprises, signalé l'inexactitude de la théorie qui fait jouer à l'acide carbonique du sang un rôle dans la production des convulsions qui accompagnent le plus souvent l'asphyxie ou l'hémorrhagie, des contractions de l'intestin après

la mort, etc. Tout cela, nous l'avons vu, est dû à la diminution de l'oxygène du sang. Mes expériences montrent en même temps la fausseté de certaines théories qui ont cours sur la cause des mouvements rhythmiques de la respiration. Il est bien évident que l'acide carbonique n'y est pour rien, puisque chez les animaux sous dépression, où ce gaz est en faible proportion dans le sang, la respiration est aussi rapide, sinon plus, qu'à la pression normale. Inversement, lorsque sa proportion augmente notablement, celle de l'oxygène restant fixe, les mouvements respiratoires, comme les mouvements généraux, se ralentissent de plus en plus. C'est donc à la pauvreté en oxygène du sang qui se rend à la moelle allongée qu'il faut attribuer l'excitation qui détermine les mouvements respiratoires.

I. — J'ai montré que la présence d'une grande quantité de CO^2 dans l'air et même dans le sang n'empêche pas l'absorption de l'oxygène, contrairement à ce qui avait été enseigné. En revanche, j'ai fait voir que cet acide carbonique avait pour effet d'enrayer les combustions intra-organiques, et cela chez les végétaux comme chez les animaux.

K. — Les faits que j'ai indiqués pour l'oxygène, le CO^2, l'Az, leur augmentation dans le sang sous pression, leur diminution sous dépression, se vérifient pour toutes les substances gazeuses ou volatiles.

C'est ainsi que, sous pression, les moindres quantités d'éther suffisent pour insensibiliser les animaux. Il résulte de ceci que les ouvriers des tubes doivent être extrêmement sensibles aux moindres traces (en composition centésimale) de gaz méphitiques qui peuvent se trouver dans l'air qu'ils respirent. Or, les lampes fumeuses qu'ils emportent doivent y déverser des produits de distillation, et surtout de l'oxyde de carbone, dont l'action, à la longue, peut être redoutable. Il en est de même du CO^2 formé par les lampes et par les ouvriers eux-mêmes, que Bucquoy a rencontré dans les tubes du pont de Kehl, à la proportion considérable de 2 à 3 pour 100, des gaz odorants qui s'échappent de leurs corps, des vapeurs alcooliques, etc.

Je ne saurais trop insister sur ceci que, pour produire un effet fâcheux, à 3 atmosphères, par exemple, il suffit que ces substances soient en proportion dans l'air au tiers des quantités reconnues dangereuses à la pression normale. Il y a sans doute là (malgré la ventilation active qu'on entretient) une cause assez importante de troubles dans la santé des ouvriers, cause qui est encore venue jeter la confusion dans une question déjà bien complexe.

Il résulte en outre de ceci que la thérapeutique pourra essayer de tirer parti de l'introduction en forte proportion, par la voie de l'air comprimé, de certaines substances volatiles essayées jusqu'ici seulement sous la pression ordinaire. Mais il doit me suffire de cette indication.

Je ne dirai aussi qu'un mot de l'emploi utile qui pourra être fait de l'air comprimé pour combattre les empoisonnements par la vapeur de charbon, et certains accidents asphyxiques chroniques, comme ceux des égoutiers, des blanchisseuses, des cuisiniers, où les globules chargés d'une certaine quantité de HS, de CO, etc., n'absorbent plus la proportion normale d'oxygène. Il y a là, en un mot, toute une série d'applications médicales faciles à deviner.

L. — Inversement, la dépression doit sans doute une partie de son action à la soustraction plus rapide, hors du sang, de certaines substances volatiles qui s'y introduisent dans nos conditions respiratoires ordinaires, au sein des villes surtout, substances auxquelles il serait beaucoup plus sage de donner une part dans la production des anémies des villes, que de l'attribuer à une augmentation de CO^2 ou à une diminution d'oxygène, qu'aucun chimiste n'a jamais pu nettement constater.

Les cloches à air déprimé, comme celles à air comprimé, devraient donc faire partie du matériel thérapeutique de nos grands hôpitaux. Il serait fort curieux de rechercher l'influence qu'auraient sur les fièvres et les inflammations des décompressions assez fortes pour diminuer d'un cinquième, d'un quart, la quantité d'oxygène contenue dans le sang, et abaisser d'un ou

deux degrés la température du corps, ou, en sens inverse, des pressions de 2 ou 3 atmosphères qui produiraient un effet analogue. C'est toute une étude à faire, qui incombe aux médecins; mais je doute qu'ils puissent avoir en main une médication *altérante* plus active.

M. — A ce point de vue, la respiration d'air chargé d'une certaine quantité de CO^2 mérite de fixer de nouveau l'attention; elle aurait pour effet certain de combattre l'activité trop grande des combustions organiques et de tendre à abaisser la température. C'est dans cette direction que devraient être repris des essais faits un peu à tort et à travers à la fin du siècle dernier, et de nos jours par certains médecins attachés aux sources minérales riches en acide carbonique.

J'ai dit plus haut l'emploi qu'on pouvait en outre tenter d'en faire comme anesthésique.

N. — J'ai fait quelques expériences sur les phénomènes que présentent des animaux auxquels on fait respirer de l'air plus ou moins comprimé que celui dans lequel leur corps est plongé.

Or, j'ai vu que, lorsque l'air du poumon est comprimé à 6 ou 7 centimètres de mercure, les Chiens meurent immédiatement. La circulation du sang s'arrête dans les poumons, comme l'a montré il y a quelque temps M. Gréhant.

Si, en sens inverse, on exerce la compression sur l'ensemble du corps, le poumon étant à la pression normale, il faut arriver à dépasser 50 centimètres de compression pour tuer l'animal, qui meurt alors d'asphyxie, parce qu'il ne peut plus soulever le poids énorme qui l'empêche de respirer en écrasant son thorax. La force qu'il déploie pour faire, avec un excès de pression extérieure de 38 centimètres, des inspirations (assez faibles), est très-extraordinaire, puisqu'elle correspond à environ une livre par chaque centimètre carré de sa surface thoracique.

A l'asphyxie vient se joindre chez ces animaux, comme cause de mort, l'engouement des poumons, qui se gorgent de sang et sont même le siége d'hémorrhagies.

Ces faits sont intéressants à connaître pour l'hygiène des plon-

geurs: la mort d'un certain nombre de ces malheureux doit sans doute être rapportée à l'emploi d'appareils défectueux, qui n'équilibraient pas exactement la pression de l'air du scaphandre avec celle de l'eau où leur corps était plongé. On voit que l'excès de la pression de l'air est beaucoup plus à redouter que sa diminution : une augmentation correspondante à un mètre d'eau mettra la vie du plongeur en danger.

O. — J'indiquerai enfin en quelques mots les rapports de mes expériences avec les conditions générales de la vie sur le globe.

1° En dehors de la considération de la température, il y a, pour les animaux et les végétaux, sur les hautes montagnes, une limite infranchissable. Cette limite varie sans aucun doute avec les espèces, et la distribution géographique suivant les altitudes trouve là une de ses causes.

2° Il existerait, et à de faibles profondeurs, une limite semblable dans les eaux de la mer, si elles tenaient en dissolution l'oxygène et l'azote, suivant la loi de Dalton. Une source d'air jaillissant du fond de la mer tuerait tout ce qu'elle rencontrerait dans son ascension verticale. La différente richesse en oxygène des divers courants aux diverses profondeurs est peut-être pour quelque chose dans la distribution géographique sous-marine. Il y a là un ordre de recherches nouvelles que je signale aux explorateurs des régions profondes de la mer.

3° Aux temps géologiques primitifs, où la pression de l'atmosphère devait être plus forte qu'aujourd'hui, les conditions de la vie étaient fort différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui, et suroxygénantes; et si, comme le disent les géologues, notre atmosphère tend à pénétrer de plus en plus, en raison du refroidissement des couches centrales, dans les profondeurs de la terre, nous marchons vers un état asphyxique comparable à celui que donne l'ascension des montagnes élevées.

4° Il est inexact d'enseigner, comme on le fait d'ordinaire, que les végétaux ont dû apparaître sur la terre avant les animaux, afin de purifier l'air de la grande quantité de CO^2 qu'il contenait. En effet, la germination, même celle des moisissures,

ne se fait pas dans l'air assez chargé de CO^2 pour être mortel aux animaux à sang chaud.

5° Il l'est tout autant, ainsi que je l'ai fait il y a longtemps observer, d'expliquer l'antériorité des Reptiles par rapport aux animaux à sang chaud, par l'impureté de l'air souillé de trop de CO^2 ; les Reptiles, en effet, redoutent ce gaz plus encore que les Oiseaux, et surtout que les Mammifères.

NOTE COMPLÉMENTAIRE.

Le Mémoire qui précède a été déposé au secrétariat de l'Académie des sciences le 30 mai 1873. Depuis sa rédaction, j'ai répété une grande partie des expériences qu'il contient, et n'ai rien à retrancher aux conclusions que j'en ai tirées.

Mais j'y puis aujourd'hui ajouter un certain nombre de faits que je considère comme importants, parce qu'ils touchent à ce qu'il y a de plus intime, de plus profond et de plus général dans les phénomènes que j'ai étudiés. Je les énoncerai brièvement dans les trois paragraphes suivants :

§ 1er.

De la production d'urée aux pressions barométriques très-basses et très-élevées.

J'ai montré à diverses reprises que sous les basses comme sous les hautes pressions, la quantité d'oxygène consommé et d'acide carbonique produit diminue, en même temps que s'abaisse la température du corps.

Il était fort intéressant de chercher ce que devenait, dans les mêmes conditions, la production de l'urée.

Les expériences ont été faites sur des Chiens bien portants. L'animal était soumis à une ration journalière bien réglée ; au bout de quelques jours, on le sondait un matin, puis on le plaçait dans une cage disposée de façon à permettre de recueillir les urines. Le lendemain, à la même heure, on le sondait à nouveau, et l'on réunissait l'urine ainsi recueillie à celle que pouvait contenir déjà le réservoir. Pendant plusieurs heures alors, on

soumettait le Chien à une pression très-basse ou très-élevée, puis on le replaçait dans sa cage; et, le jour d'après, on analysait à la fois l'urine qu'il avait pu émettre dans l'appareil ou dans la cage et celle qu'un nouveau sondage ramenait. Enfin, le troisième jour, on faisait souvent une analyse nouvelle.

Ces analyses ont été faites par la méthode de M. Yvon, méthode qui permet, par la quantité d'azote qu'on extrait d'un liquide à l'aide de l'hypobromite de soude, d'apprécier la proportion d'urée (y compris l'acide urique) qu'il contenait.

Or, voici les résultats de quelques expériences :

A. — *Diminution de pression.*

I. Chien pesant 19kil,300.	gr
1er jour, pression normale, a produit : urée	27,9
2e jour, après avoir été soumis pendant sept heures à une pression de 25c à 30c, a produit : urée	20,7
II. Même chien, resté à la ration, quelques jours après.	
1er jour, pression normale, a produit : urée	27,5
2e jour, pendant sept heures à 38c de pression, a produit : urée	13,5
III. Même chien, plusieurs jours après.	
1er jour, pression normale, a produit : urée	20
2e jour, pendant six heures à une demi-atmosphère	14,4
3e jour, pression normale	36,8
IV. Chien pesant 20kil,5.	
1er jour, pression normale, a produit : urée	23,4
2e jour, pendant sept heures à une demi-atmosphère	24,3
3e jour, pression normale	17,5
V. Chien pesant 12 kilogr.	
1er jour, pression normale, a produit : urée	19,4
2e jour, sept heures à demi-atmosphère	11,8
3e jour, pression normale	15,4
VI. Même chien, plusieurs jours après, fatigué.	
1er jour, pression normale, a produit : urée	13
2e jour, neuf heures à 30c ou 35c	7
3e jour, pression normale	8,2

Ainsi, dans tous les cas, il y a eu notable diminution d'urée, soit le jour même de la décompression, soit pendant la journée suivante (IV). L'expérience III montre que, après une forte diminution d'urée, il peut arriver que, le lendemain, la nutrition de

l'organisme reprenne une activité nouvelle, et que la quantité d'urée augmente, à ce point de compenser au moins la quantité qui manquait dans le jour précédent. Mais cela n'a pas toujours lieu (exp. V et VI).

B. — *Augmentation de pression.*

VII. Chien pesant 12 kilogr.	gr
1er jour, pression normale, a produit : urée	12
2e jour, six heures à 8 atmosphères (ne mange que demi-ration)	3,8
3e jour, pression normale (n'a pas mangé du tout)	10,3
VIII. Chien pesant 16 kilogr.	
1er jour, pression normale : urée	21,6
2e jour, sept heures et demie à 8 atmosphères	16,9
IX. Chien.	
1er jour, pression normale, urée	13,5
2e jour, onze heures sous pression (5 à 8 atmosphères) (a mangé demiration) ; urée	3,8
3e jour, pression normale (n'a pas mangé du tout)	15,4

Ainsi, l'air comprimé diminue considérablement, lui aussi, la production et l'élimination de l'urée.

Il sera donc possible, en prenant pour instrument de mesure l'urée excrétée pendant les vingt-quatre heures (ce qui est beaucoup plus commode et plus sûr que l'évaluation de l'acide carbonique produit), de chercher, sur l'homme sain et sur l'homme malade, quel est le degré de pression barométrique qui coïncide avec le maximum de l'activité nutritive intra-organique (voy. page 141). Il est permis de supposer qu'il y a avantage à se rapprocher de ce maximum dans les maladies où la nutrition est insuffisante (anémie), et au contraire à s'en éloigner un peu dans les cas où l'usure de l'organisme se fait avec une intensité alarmante (phthisie). Peut-être pourra-t-on, en poursuivant ces recherches que j'indique aux médecins, arriver à expliquer ce qu'il y a d'étrange et de contradictoire en apparence dans les actions thérapeutiques connues de l'air dilaté et de l'air comprimé.

§ 2.

De la quantité d'oxygène que peut absorber le sang aux diverses pressions barométriques.

Les nombreuses analyses des gaz contenus dans le sang des animaux vivants aux diverses pressions barométriques ont montré (voy. page 63 et graphique IX) que la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel diminue rapidement quand la pression s'abaisse au-dessous de la normale, tandis qu'elle n'augmente que très-lentement quand la pression s'élève.

J'ai déjà signalé (page 52) la contradiction que, pour les basses pressions, semblent présenter ces résultats avec ceux qu'a autrefois publiés M. Fernet. J'ai en même temps indiqué les raisons pour lesquelles cette contradiction n'est qu'apparente.

Cependant j'ai pensé qu'il serait intéressant de rechercher la quantité d'oxygène que peut absorber le sang aux diverses pressions, non plus dans le corps de l'animal, mais *in vitro*, en allant, pour la dépression et la compression, bien au delà des faibles limites dans lesquelles s'était, pour avoir plus de précision, renfermé M. Fernet.

J'ai fait faire un récipient de métal capable de résister à 25 atmosphères; j'y introduisais du sang défibriné, que j'agitais sous une pression déterminée. Une certaine quantité de ce sang était soumise à l'action de la pompe à mercure qui en extrayait les gaz; le résultat était alors comparé avec celui que donnait l'extraction des gaz d'une autre partie du même sang simplement agité à l'air.

D'un autre côté, j'agitais énergiquement du sang dans un flacon où la pression avait été diminuée, et les gaz de ce sang étaient semblablement extraits.

Des expériences préliminaires auxquelles j'ai fait allusion page 52 m'ont montré que, *in vitro*, même à des pressions d'une demi et d'un tiers d'atmosphère, la quantité d'oxygène contenue dans le sang était très-voisine de celle qu'il absorbe à la pression normale; je trouvais ainsi des résultats tout à fait du même ordre que ceux qu'avait indiqués Fernet. Pour

les pressions élevées, j'étais arrivé à ce résultat que, au-dessus d'une atmosphère, il n'entre plus dans le sang que l'oxygène simplement dissous dans le sérum.

Je n'ai pas cru devoir cependant introduire ces faits dans le mémoire qu'on vient de lire. Je désirais, en cette question purement physico-chimique, atteindre une exactitude que ne présentaient point avec une précision suffisante mes expériences préliminaires. J'y suis parvenu aujourd'hui avec le concours de M. Gréhant, que je suis heureux de remercier ici.

Voici les résultats de quelques expériences :

A. — *Diminution de pression.*

I. 100 volumes de sang de chien agités avec de l'air		
à 76c contiennent	25,3	35,7
Id. agités avec de l'air à 38c contiennent	23,4	27,5
II. 100 volumes de sang de chien agités avec de l'air		
à 76c contiennent	13,2	44,7
Id. agités avec de l'air à 34c contiennent	12,1	44
Id. agités avec de l'air à 18c contiennent	11,2	38,2
III. 100 volumes de sang de chien agités avec de l'air		
à 77c contiennent	20,2	28,4
Id. agités avec de l'air à 34c contiennent	18,9	24,0
Id. agités avec de l'air à 6c contiennent	17,7	19,8
IV. 100 volumes de sang de bœuf agités avec de l'air	Oxyg.	CO^2.
à 76c contiennent	19,3	»
Id. agités avec de l'air à 8c,3	18,5	»
Id. agités avec de l'air à 2c,2	18,3	

La seule inspection de ces chiffres montre évidemment que, au-dessous d'une atmosphère, la diminution de l'oxygène contenu dans le sang ne paraît porter que sur le gaz dissous, la combinaison de l'oxyhémoglobine restant fixe ou ne perdant que de minimes quantités d'oxygène, jusqu'à des pressions inférieures à 10 centimètres.

Les conséquences de ceci sont des plus considérables pour la question du séjour sur les lieux élevés. En effet, le sang d'un aéronaute, que son ballon a transporté à 5500 mètres, à une demi-atmosphère, est capable d'absorber chimiquement presque autant d'oxygène qu'à la pression normale; mais, en fait, il en contient beaucoup moins.

C'est que l'agitation intra-pulmonaire du sang avec l'air ne se fait plus dans des conditions suffisantes. Déjà, nous l'avons vu, même à la pression normale, le sang artériel n'est point saturé de l'oxygène qu'il peut contenir; il n'y arrive, ou à peu près, qu'à la suite d'efforts exagérés de respiration, qui entraînent une exagération de la rapidité circulatoire. A une demi-atmosphère, il faudrait, pour obtenir le même résultat qu'au niveau du sol, que l'activité du brassement intra-pulmonaire fût doublée : doubles les mouvements respiratoires en amplitude ou en rapidité; doubles les mouvements du cœur en force et en nombre. Cela est évidemment impossible.

Cependant il se fait un mouvement dans ce sens, comme en témoignent les récits de tous les voyageurs, comme je l'ai observé sur les animaux et éprouvé moi-même dans mes appareils; aux faibles dépressions, la respiration s'accélère, les battements du cœur sont plus forts et plus nombreux, et l'équilibre peut être à peu près rétabli.

Mais, tout d'abord, ceci ne peut être que momentané, et semblable gymnastique ne saurait continuer longtemps sans des menaces d'emphysème et de maladies cardiaques; aussi cette exagération ne dure-t-elle pas, et les étrangers eux-mêmes, transportés sur de petites montagnes (1000 à 2000 mètres), n'y voient-ils nullement se maintenir chez eux cette accélération redoutable : l'oxygène diminue donc fatalement dans leur sang.

Il y a plus : quand la pression diminue encore, quand surtout il s'agit d'ascension en montagnes où travaillent énergiquement les muscles, l'accélération respiratoire et circulatoire n'ayant pu compenser l'insuffisance de l'agitation aéro-sanguine intra-pulmonaire, les muscles de la respiration comme ceux du cœur se fatiguent. Les respirations, toujours nombreuses pendant l'activité, sont très-peu amples, si bien que c'est à peine si la quantité d'air inspiré dans un temps donné est *en volume* la même qu'à la pression normale (1); au repos, elles retombent au nombre ordinaire, tout en restant très-faibles, et il semble

(1) Lortet, *Deux ascensions au Mont-Blanc en* 1869 (*Lyon médical*, 1869).

même, selon la remarque de de Saussure, qu'on oublie parfois de respirer (1). Les mouvements du cœur donnent des résultats analogues; leur fréquence augmente il est vrai, mais la tension cardiaque baisse considérablement : dans un des tracés sphygmographiques de Lortet, pris au moment de l'arrivée sur le sommet du Mont-Blanc, on a peine à retrouver l'indication du pouls.

Ainsi, l'organisme, vaincu dans sa lutte pour compenser par l'agitation aéro-sanguine la moindre densité de l'oxygène de l'air, revient au type régulier de ses mouvements, qu'affaiblit bientôt la pauvreté du sang. Il s'établit ainsi un budget organique inférieur en recettes, mais qui peut pendant un temps se régler en équilibre si les dépenses s'abaissent. C'est ce qui arrive aux aéronautes qui ne contractent pas leurs muscles et sont défendus contre le froid par leurs vêtements, des boules d'eau chaude, etc.; les voyageurs en montagnes n'ont point ces ressources, et ne peuvent monter aussi haut. Enfin, comme le budget des animaux à sang chaud ne saurait s'abaisser sans péril au-dessous d'une certaine limite, il arrive un moment où le système nerveux ne peut plus agir, où surviennent les paralysies, puis l'arrêt des mouvements respiratoires; d'où la mort par asphyxie, ainsi que nous l'avons plus haut surabondamment prouvé.

B. — *Augmentation de pression.*

Je me contenterai de citer deux analyses, parce qu'elles sont très-complètes et très-concluantes :

V. 100 vol. de sang de chien agités avec air à 76c contiennent.	20,2	vol. d'oxyg.
Id. agités avec air à 9 atmosphères	25,9	
Id. agités avec air à 18 atmosphères	28,2	
VI. Sang de chien agité avec air à 76c, contient	14,9	
Id. à 6 atmosphères	19,2	
Id. à 12 id.	26,0	
Id. à 18 id.	31,1	

Discutons cette dernière expérience /. Appelons x le volume

(1) Jourdanet, *le Mexique et l'Amérique tropicale*. Paris, 1864, p. 437.

d'oxygène supposé combiné avec l'hémoglobine contenue dans 100 centimètres cubes de sang, volume qui serait, par hypothèse, indépendant de la pression; appelons y le volume d'oxygène que 100 centimètres cubes de sang peuvent absorber, à l'état de simple dissolution, à la suite d'agitation dans l'air sous la pression normale. Nous aurons :

A 1 atmosphère	....	$x + y = 14,9$	(1)
A 6 id.	....	$x + 6y = 19,2$	(2)
A 12 id.	....	$x + 12y = 26,0$	(3)
A 18 id.	....	$x + 18y = 31,1$	(4)

Retranchons (1) de (4), il vient $y = 0,95$, et de l'équation (1) nous tirons alors $x = 13,95$. En portant ces valeurs dans les équations (2) et (3), nous trouvons les chiffres 19,6 et 25,4 au lieu de 19,2 et de 26, différences qui sont tout à fait de l'ordre des erreurs d'expériences.

Ainsi, l'hypothèse est vérifiée, et, au-dessus d'une atmosphère, la pression n'ajoute plus au sang que de l'oxygène dissous, dont la proportion croissante suit la loi de Dalton. Si donc nous prenons 20 comme proportion moyenne d'oxygène contenu dans le sang à la pression normale, et si nous supposons, pour faciliter le calcul, qu'il y en ait 1 volume de dissous, nous trouverons que, à 5 atmosphères, il devra y avoir 24 volumes; à 10 atmosphères, 29 volumes; à 17 atmosphères, 36 volumes; à 26 atmosphères, 45 volumes.

Or, en fait, et sur l'animal vivant (voy. graphique IX, ligne pleine, page 62), il n'en est pas exactement ainsi, la quantité de l'oxygène contenue dans le sang étant inférieure à celle qu'indique le précédent calcul.

Cela doit tenir en partie à ce que l'oxygène simplement dissous dans le sérum tend à pénétrer aussi par simple dissolution, dans tous les liquides organiques et les tissus que baigne le sang, jusqu'à ce qu'il s'établisse entre eux et ce sérum un équilibre de dissolution.

Le ralentissement des mouvements respiratoires et de la circulation du sang, si facile à constater aux hautes pressions chez les animaux à sang froid, vient sans doute aussi concourir à di-

minuer la quantité d'oxygène qui devrait s'introduire dans le sang, en modifiant les conditions de l'agitation aéro-sanguine qui se fait dans les poumons. Il y aurait là, de la part de l'organisme, une lutte pour l'équilibre se faisant en sens inverse de celle dont nous avons parlé à propos de la décompression.

Si nous nous reportons maintenant à cette observation faite plusieurs fois déjà que le sang, dans les conditions de la respiration normale, n'est jamais saturé de l'oxygène qu'il peut absorber, on concevra que l'augmentation de pression, introduisant un peu plus d'oxygène dans le sang, cet oxygène devra être d'abord rapidement condensé par les globules sanguins, en telle sorte que l'hémoglobine du sang arrive à se saturer tout entière, avant qu'il en reste une plus forte proportion dans le sérum.

C'est probablement cette saturation plus complète de l'hémoglobine qui, permettant aux globules sanguins de jouer d'une manière plus parfaite leur rôle excito-nutritif, fait qu'une faible augmentation de pression est favorable dans beaucoup de circonstances pathologiques et notamment dans les anémies. Mais au delà, quand l'hémoglobine est saturée, quand l'oxygène s'emmagasine dans le sérum, puis dans tous les tissus, arrivent les accidents que j'ai signalés et décrits plus haut, et dont le paragraphe suivant va me permettre de montrer la cause intime.

Mais au point de vue chimique pur, les faits que je viens de rapporter présentent un intérêt nouveau quand on les rapproche de ceux qu'ont récemment signalés MM. Risler et Schützenberger (1). Selon ces chimistes, le sang, ou pour mieux dire l'hémoglobine à laquelle on a enlevé tout l'oxygène possible par l'action du vide ou de l'oxyde de carbone, en contiendrait encore une quantité à peu près égale à celle qu'elle vient de perdre.

Il y aurait donc ici une sorte de *protoxyhémoglobine*, que le vide, même aidé de la chaleur, que l'oxyde de carbone, ne sauraient réduire; puis, par l'agitation avec l'air se formerait une *deutoxyhémoglobine* à laquelle le vide et l'oxyde de carbone

(1) Voy. *Compt. rend.*, 17 février 1873, t. LXXVI, p. 440.

pourraient enlever son second équivalent d'oxygène. Au delà, l'hémoglobine, complétement saturée, ne peut plus prendre d'oxygène, dont la proportion augmente seulement dans le sérum ambiant. Cela rappelle singulièrement le mode d'union de l'acide carbonique avec les bases alcalines, dont les *proto-carbonates* sont indécomposables par le vide, tandis que les *deutocarbonates* perdent aux très-faibles pressions barométriques leur second équivalent d'acide.

Ce rapprochement est très-saisissant lorsqu'on fixe son attention sur la manière dont le gaz carbonique sort du sang quand on agite ce liquide avec l'air à diverses pressions barométriques.

L'agitation du sang avec l'air pur, à la pression normale, ne lui enlève que très-lentement son acide carbonique, et je ne crois même pas qu'elle puisse l'en dépouiller complétement. Si l'air est dilaté, la sortie de l'acide se fait un peu plus vite. Cependant les expériences ci-dessus rapportées (page 155) montrent que, même à d'assez basses pressions, le sang ne perd pas rapidement son acide carbonique; d'autre part, en faisant un vide progressif dans la pompe à mercure, je n'ai vu l'acide quitter le sang en proportion notable qu'à une très-basse pression, à peu près en même temps que l'oxygène. En d'autres termes, les bicarbonates et les phospho-carbonates se comportent aux environs du vide comme la bioxyhémoglobine dont je parlais tout à l'heure.

§ 3.

Action intime de l'oxygène à de hautes pressions.

Les faits rapportés dans les chapitres I, III, VI, ont montré que l'oxygène, sous une certaine pression, tue les animaux de toute espèce, les végétaux, les graines. Cette généralité d'action prouve que, bien évidemment, il n'est question là, ni d'un mécanisme particulier, ni d'une action spéciale et portant uniquement sur les globules sanguins ou le système nerveux. Il est clair, au contraire, que l'action de l'oxygène doit être d'une nature

tout à fait intime, générale, et s'adresser aux phénomènes mêmes de la nutrition élémentaire.

Or, ces phénomènes, pour si variés et si peu connus qu'ils soient, appartiennent très-certainement à la grande famille des fermentations (par oxydation, dédoublement, hydratation, etc.). J'ai donc pensé à chercher si l'influence funeste de l'oxygène comprimé s'exercerait également sur des fermentations particulières, nettement déterminées.

Je donne ici les résultats d'une expérience.

8 *août*. — Temp. 27 degrés. Je mets dans trois petites bouteilles semblables et bien lavées de l'urine fraîche et acide; dans trois autres du vin, et sur celles-ci je dépose une petite quantité de ferment du vinaigre pris sur une surface en pleine activité. Ces bouteilles sont demi-bouchées avec du papier et placées trois par trois :

A. Sous cloche, à l'air ordinaire.

B. A 4 ou 5 atmosphères d'air changé tous les jours.

C. A 4 ou 5 atmosphères suroxygénées, changées tous les jours, représentant de 17 à 24 atmosphères d'air.

11 *août*. — A. Urine tout à fait trouble, infecte, encore acide. Vin couvert d'une pellicule assez épaisse.

B. Urine beaucoup moins trouble, sentant un peu mauvais. Nuage très-léger sur presque toute la surface du vin.

C. Urine claire, avec un peu de dépôt au fond, odeur fraîche. Sur le vin on ne voit qu'une petite tache produite par le mycoderme déposé, qui n'a pas grandi.

15 *août*. — A. Urine très-alcaline, infecte, très-trouble. Vin surchargé de champignons.

B. Urine moins alcaline, moins infecte, moins trouble. Sur le vin, pellicule plus complète et plus épaisse que le 11.

C. Urine peu alcaline, un peu trouble, sentant un peu mauvais. Sur le vin, la tache paraît avoir à peine grandi.

Ainsi la germination du *Mycoderma aceti* est complétement arrêtée par l'oxygène comprimé, et ralentie notablement par l'air à 5 atmosphères; le développement des vibrions de l'urée est influencé de la même manière, bien qu'à un moindre degré.

Je me suis assuré, du reste, que l'oxygène pur à la pression normale produit sur les altérations du vin et de l'urine le même effet que l'air à 5 atmosphères. Dans une atmosphère d'oxygène pur, le *Mycoderma aceti* semé se développe beaucoup moins vite que dans l'air.

Ces faits ne sont pas sans analogie avec les remarquables découvertes de M. Pasteur sur certains ferments, qui, tout en ayant besoin de l'oxygène pour vivre, doivent l'emprunter à des combinaisons organiques, et périssent au contact de l'oxygène gazeux.

J'ai fait en outre des expériences sur des fermentations produites non par le développement d'êtres vivants, mais par l'action de ferments solubles : telles la destruction de la glycose dans le sang, et la transformation de l'amidon en glycose sous l'influence de la salive.

Voici l'une de ces expériences :

18 *juillet.* — Températ. 22 degrés. *a*, sang mélangé de glycose ; *b*, amidon cru en suspension dans l'eau, mêlé avec de la salive filtrée.

A. Un tube de chaque est placé sous cloche à l'air ordinaire ; B, un autre, même diamètre, même hauteur de liquide, est mis à 8 atmosphères suroxygénées.

20 *juillet.* On essaye le liquide avec le réactif de Fehling ; le sang est préalablement cuit avec un poids égal au sien de sulfate de soude, l'eau qui s'évapore étant remplacée par de l'eau distillée. Or, on trouve que :

A. Le liquide provenant du sang ne réduit pas complétement huit fois son volume de liqueur bleue. Le liquide à l'amidon filtré réduit aisément 15 fois son volume de la même liqueur et reste un peu bleu avec 20 fois son volume.

B. Le liquide provenant du sang réduit complétement 10 fois son volume ; celui de l'amidon reste bleu avec 11 fois son volume.

Ainsi il y a eu notablement moins de glycose détruite dans le sang et de glycose formée par l'amidon sous la pression d'oxygène qu'à l'air libre.

Enfin, considérant que de tous les phénomènes complexes désignés sous le nom de fermentations, celui qui ressemble peut-être le plus aux transformations chimiques des tissus dans l'état de vie est la série des *processus* qui conduisent à la putréfaction, j'ai fait sur celle-ci un assez grand nombre d'expériences.

J'insisterai tout particulièrement sur ce point ; voici quelques faits bien nets :

I. 21 *juillet.* — Températ. 22 degrés. Pris deux lots de 100 grammes de muscles d'un Chien que je venais de tuer ; coupés en morceaux et introduits, le premier, A, dans un grand flacon plein d'air, le second, B, dans un appareil où j'ajoute à l'air qu'il con-

tenait 5 atmosphères d'air suroxygéné, correspondant à peu près à 17 atmosphères d'air.

25 *juillet.* — A horriblement infect; B, aucune odeur.

II. 27 *juillet.* — Températ. 23 degrés. Les deux cuisses d'un petit Chien sont suspendues : l'une, A, dans une cloche fermée, pleine d'air; l'autre, B, dans un appareil où la pression est poussée à 7 atmosphères suroxygénées correspondant à 22 atmosphères d'air.

31 *juillet.* — A sent horriblement mauvais; B ne sent absolument rien.

3 *août.* — A, puanteur horrible, moisissures nombreuses; B, aucune odeur, aspect ambré, pas de moisissures.

III. 19 *décembre.* — Morceaux de filet de bœuf aplatis, aussi semblables que possible en poids et en surface, sont suspendus : A, dans une grande cloche pleine d'air; B, dans une cloche contenant de l'air à 90 pour 100 d'oxygène, pression normale, correspondant à 4,5 atmosphères d'air comprimé; C, dans un récipient à 9 1/2 atmosphères d'un air contenant 88 pour 100 d'oxygène, correspondant à 40 atmosphères d'air comprimé.

26 *décembre.* — A commence à sentir mauvais; B, odeur fade; C, aucune odeur.

8 *janvier.* — A sent horriblement mauvais et est en putréfaction, ramolli; réaction très-acide. B sent un peu moins mauvais; réaction très-acide. C, ferme, un peu jaunâtre d'aspect, légèrement acide; très-faible odeur aigrelette nullement désagréable; cuit, n'a rien de répugnant, mais présente un goût fade et peu agréable.

Il est donc bien démontré que la putréfaction n'a pas lieu dans l'air suffisamment comprimé; il est même parfaitement permis de supposer que les légères altérations présentées par le muscle, nonobstant la compression, n'auraient pas lieu, si l'on employait une pression encore plus élevée. Dans l'expérience III ces altérations étaient bien faibles, puisqu'il a été possible de manger de la viande qui, depuis vingt jours, était soumise à une température moyenne de 6 à 10 degrés, mais à une pression d'oxygène équivalente à 40 atmosphères d'air.

Je me suis alors posé la question de savoir si la putréfaction est, par l'air comprimé, seulement suspendue, ou si, en ramenant la matière animale à la pression ordinaire, on verrait reparaître les phénomènes habituels. L'expérience suivante répond à cette question :

IV. 14 *novembre.* — Côtelettes de mouton : A dans air, B à 11 atmosphères suroxygénées correspondant à 44 atmosphères d'air.

19 *novembre.* — B est tombée à 7 atmosphères, correspondant à 28 atmosphères d'air; aucune odeur, aspect rosé. A sent déjà un peu mauvais et paraît altérée. On reporte B à 10 atmosphères suroxygénées.

24 *novembre*.— A est en putréfaction complète. On laisse lentement revenir B à la pression normale en ouvrant légèrement un robinet capillaire: aucune odeur; aspect ambré sur la masse de la côtelette, rose clair sur les fragments minces de muscles qui adhèrent à l'os.

13 *décembre*.—On a dû depuis plusieurs jours jeter A qui tombait en déliquescence. B est de très-bon aspect, rosée sur les parties peu épaisses, un peu acide avec légère odeur de marinade.

Grillée, B est peu agréable à manger, mais non repoussante. Or, le 22 novembre, on avait placé comme témoin, sous une grande cloche d'air, une troisième côtelette C, qui, dès le 1er décembre, sentait affreusement mauvais, et qu'on jeta le 10 décembre, en putréfaction complète.

Ainsi, non-seulement la putréfaction est arrêtée par l'action de l'air comprimé, mais le ferment de la putréfaction lui-même est tué; de telle sorte qu'on peut décomprimer sans crainte d'en voir reparaître l'action. Mais l'aptitude à se putréfier n'est pas perdue, et si l'on remet la chair qui a été ainsi conservée au contact de l'air extérieur et des germes qu'il charrie, on la voit pourrir, quoique peut-être un peu plus lentement que de la chair ordinaire.

Voilà certes un procédé de conservation de la viande auquel on n'eût jamais pensé à priori, et qui n'est peut-être pas sans quelque possibilité d'application pratique.

Ces expériences sur la putréfaction m'ont permis d'examiner l'influence de la compression sur l'un des facteurs des *processus* chimiques de cette fermentation compliquée : je veux dire l'absorption de l'oxygène par la chair et l'exhalation de l'acide carbonique. Ceci présente un grand intérêt, car, au début, quand le muscle est encore contractile, ou apte à redevenir contractile sous l'influence d'un sang oxygéné, ce phénomène de respiration musculaire dont je me suis longuement occupé autrefois (1), est tout à fait comparable à ce qui se passe en place dans les profondeurs des tissus de l'animal vivant; plus tard, à une époque inconnue, le phénomène change de sens, et la vraie putréfaction survient, que personne ne confondra avec la respiration des tissus, sous peine de confondre la mort avec la vie.

(1) Voyez mes *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, p. 35 à 65.

Il était donc très-intéressant de chercher à savoir si, dans l'air comprimé, les oxydations des tissus vivants ou morts sont plus ou moins actives qu'à la pression normale. Or, les expériences II et III que je viens de rapporter sont tout à fait concluantes sur ce point. En effet :

Expérience II.—A (air à la pression normale) a consommé en deux jours 534 centim. cubes d'oxygène et formé 534 centim. cubes d'acide carbonique; B (22 atmosphères) a consommé dans le même temps 32 centim. cubes d'oxygène et formé 50 centim. cubes de CO^2.

Dans les quatre jours suivants, A a consommé 651 centim. cubes d'oxygène et formé 741 centim. cubes de CO^2; B a consommé 216 d'oxygène et formé 212 centim. cubes de CO^2.

Expérience III. — Dans les sept premiers jours, A (air, pression normale) a, pour chaque 100 grammes de muscles, consommé $2^{lit},2$ d'oxygène et formé $1^{lit},6$ de CO^2; B (air à 90 pour 100 d'oxygène) a consommé $1^{lit},7$ d'oxygène, et formé $1^{lit},2$ de CO^2; C (40 atmosphères) n'a rien consommé ni rien produit.

Bien mieux, après 20 jours, à la fin de l'expérience, je n'ai pas constaté dans le récipient à oxygène comprimé trace d'acide carbonique produit, et j'y ai retrouvé, avec une exactitude de décimales, la quantité d'oxygène qui s'y trouvait au début; il n'y avait eu aucune altération.

Il m'a donc été possible, par l'emploi d'oxygène suffisamment comprimé, d'arrêter complétement l'oxydation des tissus.

Ce fait vient donner la consécration dernière à l'ensemble des expériences par lesquelles j'ai déjà montré que l'action d'un excès d'oxygène sur les animaux amène une diminution considérable des combustions nutritives. J'en pourrais dire autant des végétaux, comme le prouvent les faits rapportés à la page 124.

Il est donc bien prouvé, en un mot, que chez les végétaux, les animaux, les tissus séparés, l'excès d'oxygénation ralentit et même arrête les oxydations; en outre, il arrête les fermentations diverses, qu'elles aient pour résultat une oxydation, une hydratation ou un dédoublement.

Mais à quel moment l'excès d'oxygénation devient-il nuisible? Nous venons de voir qu'avec un air à 90 pour 100 d'oxygène, correspondant à 4,5 atmosphères d'air, la diminution dans l'absorption d'oxygène est manifeste. Quelques expériences me font penser que le maximum d'action de l'oxygène dans les oxy-

dations des tissus *in vitro*, car dans l'organisme il est très-probablement plus bas, est aux environs de 3,5 atmosphères.

Dans une expérience, par exemple, des quantités égales de muscles, dans le même temps, ont absorbé : à une demi-atmosphère d'air ordinaire, 343 centimètres cubes d'oxygène; à la pression normale, air ordinaire, 524 centimètres cubes ; dans de l'air à 50 pour 100 d'oxygène (correspondant à 2,5 atmosphères), 642 centimètres cubes; dans de l'air à 60 pour 100 (3,5 atmosphères), 761 centimètres cubes.

Quoi qu'il en soit de cette limite précise, il n'est pas étonnant que cet arrêt d'oxydation aux très-hautes pressions tue tous les êtres vivants. Mais ici se pose une question bien délicate : sommes-nous seulement en présence d'une diminution ou d'un arrêt des phénomènes chimiques de la nutrition ? Il m'est difficile de le croire. Par la diminution de pression, les oxydations, les fermentations sont également diminuées ou même arrêtées ; et cependant la diminution de pression ne tue pas les graines, qui peuvent germer ensuite ; elle n'empêche pas la putréfaction de recommencer quand on ramène la pression normale ; elle ne donne pas aux animaux ces convulsions terribles qui durent alors même que l'excès d'oxygène a disparu du sang.

Je penche à croire qu'avant la phase d'arrêt complet, absolu, des phénomènes nutritifs, il y a une phase non-seulement de diminution, mais de déviation, qui donne naissance à des substances se comportant comme des poisons, et tuant en effet les cellules vivantes. Quelles sont ces substances ? Je n'en saurais avoir la moindre idée, et cela n'est pas étonnant, puisque nous ne savons presque rien des *processus* chimiques de la nutrition, et qu'aucun chimiste ne pourrait indiquer avec certitude les diverses modifications que subit, par exemple, la matière musculaire ou nerveuse pour se résoudre définitivement en acide carbonique et urée. Je suis donc ici arrêté par l'insuffisance de nos connaissances en chimie organique.

Mais je me sens autorisé maintenant à ne considérer les accidents nerveux des animaux supérieurs que comme un épiphénomène traduisant, par la mise en activité exagérée de l'appareil le plus impressionnable, les altérations générales de la nutrition ; le système nerveux joue ici, comme dans tant d'autres circon-

stances, le rôle de réactif des troubles organiques; mais ceux-ci atteignent tout aussi bien les muscles, les globules sanguins, etc. que les éléments nerveux.

Je ne terminerai pas ce paragraphe consacré aux expériences *in vitro*, sans dire que l'acide carbonique, lui aussi, arrête la respiration des tissus et la putréfaction. A la dose de 30 à 40 pour 100, il s'oppose non-seulement à la vie des animaux, non-seulement à la germination des graines et à la végétation, mais au développement des moisissures et à l'accomplissement de beaucoup de fermentations; les oxydations de la putréfaction y sont très-ralenties. La viande, lorsque cet acide est pur, s'y conserve pendant très-longtemps. Je n'insiste pas sur ces faits, et ne les ai indiqués que pour montrer qu'ils concordent parfaitement avec cette diminution des oxydations et cet abaissement de la température que j'ai signalés au chapitre IV du précédent mémoire, en traitant de l'empoisonnement par l'acide carbonique.

PLANCHES 1 A 6.

Appareils servant à l'étude de l'influence de la pression barométrique sur les êtres vivants.

DESCRIPTION DE DEUX OISEAUX DE CHINE,

Par M. l'abbé HEUDE,
Missionnaire à Chang-Hai.

BUBO SINENSIS ♂ (jeune).

Vulgo : *Cou-coucouk.*

Longueur, 0,58 ; aile, 0,40 ; bec, 0,045 ; tarse, 0,06.

Iris orange foncé, cirre bleue. Bec bleu pâle, ainsi que les doigts ; ongles noirs. Tout gris, plus ou moins foncé. Huppes auriculaires de même couleur et consistance que les plumes de la tête, qui ressemblent à de longs duvets ; peu saillantes.

Pennes et rectrices fortement barrées de gris et de noir fumée ; les couvertures moyennes barrées gris et brun, les petites d'un noir fumée, les grandes avec quelques taches jaunâtres. Plumes centrales du dos d'un gris plus foncé, avec un peu de noir. Tarse fortement emplumé jusqu'aux doigts, qui ont quelques soies en dessus.

Trouvé près de Nan-tchang-fou, en mars 1873. Se tient dans les grands bois, au sommet des arbres les plus élevés, par bandes de trois, quatre et cinq.

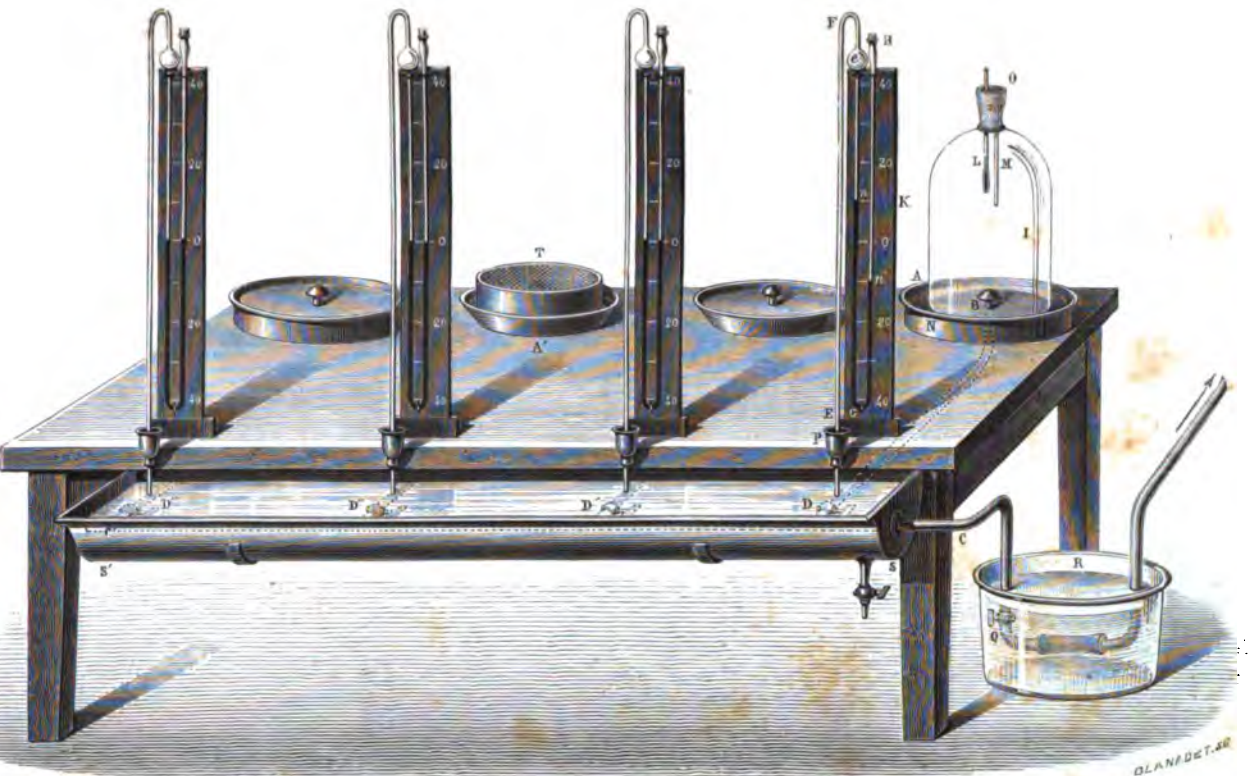
CAPRIMULGUS NIGRESCENS ♂.

Longueur totale, 0,25 ; aile, 0,20 ; bec, 0,035 ; tarse, 0,015 ; doigt médian, 0,022.

Teinte générale plus sombre que celle du *C. Jotaka*. Tête marquée de larges bandes longitudinales d'un noir pur ; moustache d'un blanc fauve ; sous la gorge, une large tache triangulaire d'un blanc pur. Les plumes de la poitrine et du ventre sont noires, striées et terminées de fauve ; sous-caudales chamois, à larges taches transverses noires. Pennes noires, rayées de taches noisette ; leur pointe est de couleur cendrée disposée en dessins irréguliers ; les quatre grandes ont une bande blanche au sinus. Rectrices médianes à bandes obliques nettes, noires, avec du noir guilloché de gris ; les autres ont de minces bandes interrompues noisette, et une large tache blanche à un centimètre de l'extrémité. Tarses emplumés ; pieds et ongles noirs. Iris incolore.

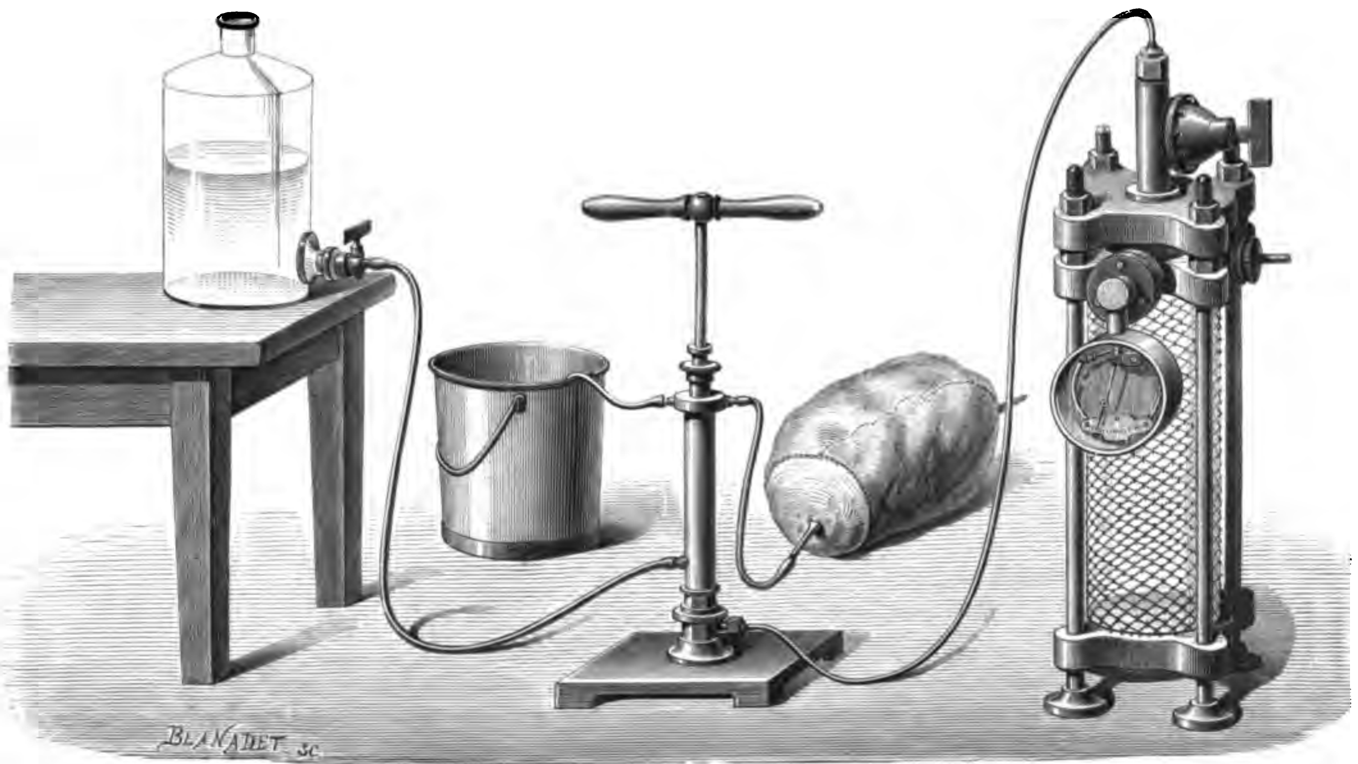
Bois de pins, au Niang-si, sud-ouest, mars 1873.

APPAREIL POUR EXPÉRIENCES SIMULTANÉES SUR LA DIMINUTION DE PRESSION.



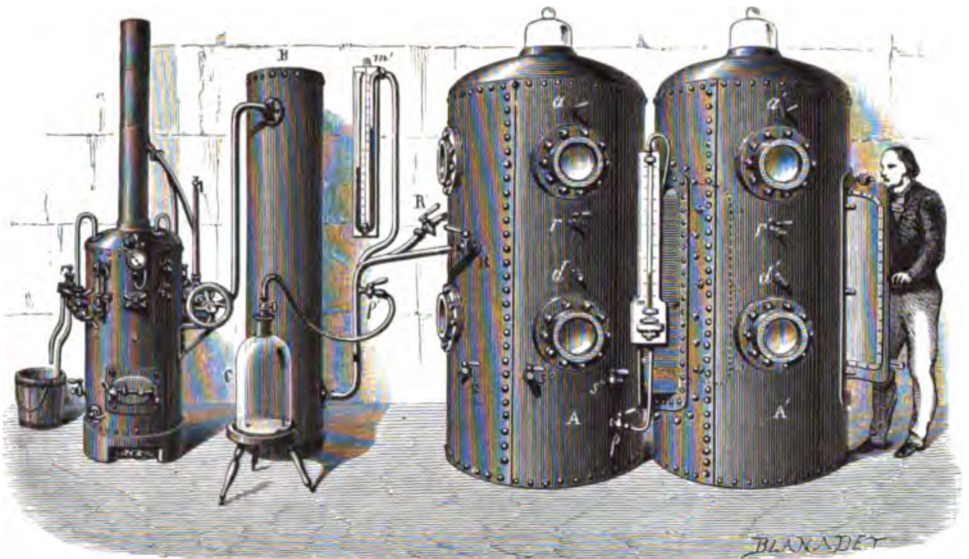
A. Cloche sur plaque avec manchon de zinc N, thermomètre L, tube de verre pour prendre air M, avec robinet noyé dans le manchon plein d'eau O. — B. Orifice par lequel la pompe à vapeur aspire l'air, par l'intermédiaire du tube C, des robinets D et Q plongés dans l'eau. — E F G H. Manomètre avec communication noyée en P. — *e*. Petit renflement pour éviter les projections de mercure. — S S'. Gouttière de zinc pour noyer les robinets D D' D'' D'''. — T. Appareil à recueillir les urines.

APPAREIL CYLINDRIQUE EN VERRE POUR HAUTES PRESSIONS (JUSQU'A 25 ATMOSPHÈRES), EN CHARGE D'AIR SUROXYGÉNÉ.



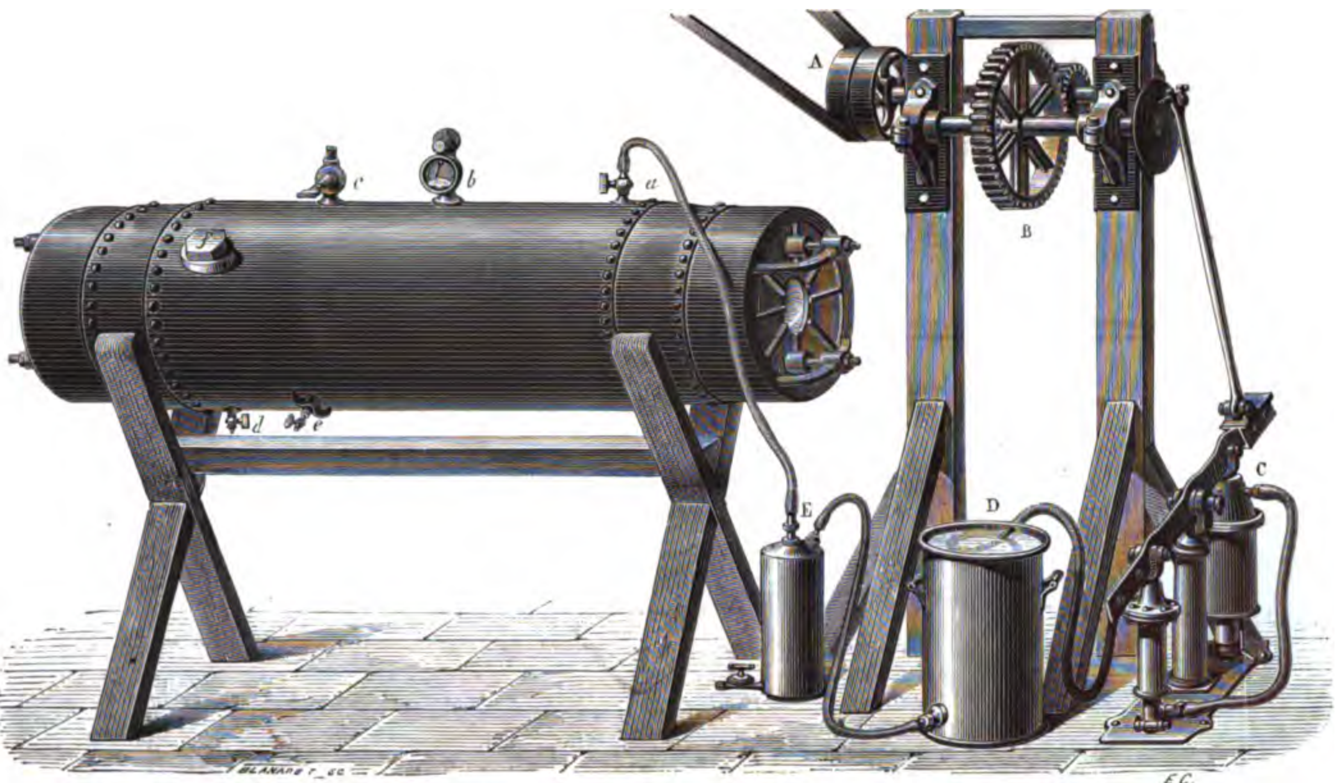
Courant d'eau froide enveloppant la pompe pour éviter l'échauffement de l'air comprimé. — Pompe à compression. — Sac contenant l'oxygène. — Cylindre avec manomètre et robinet capillaire.

GRAND APPAREIL POUR L'ÉTUDE DES FAIBLES PRESSIONS.



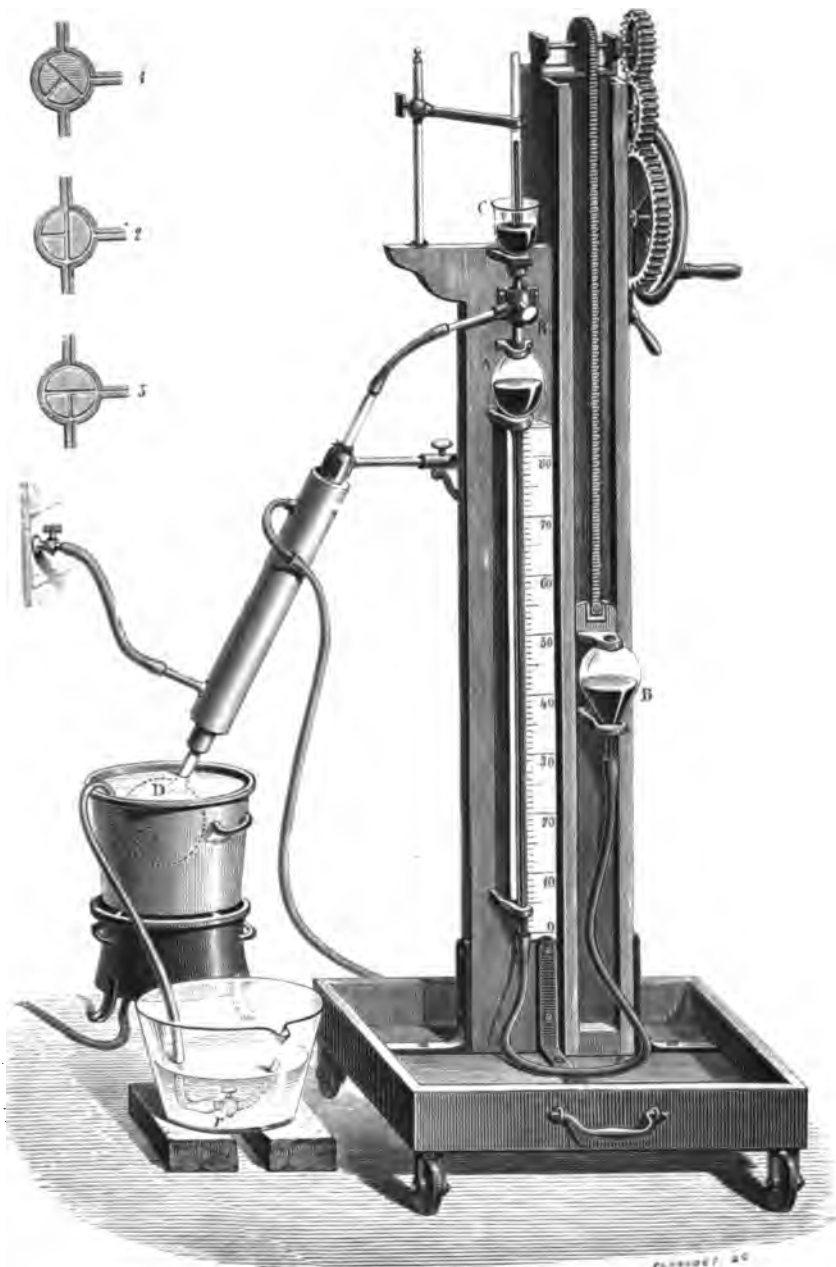
A, A'. Cylindres en tôle boulonnée, avec hublots en verre. — B. Cylindre où l'on peut faire à l'avance le vide à 7 centimètres, afin d'obtenir une rapide diminution dans les grands cylindres. — C. Grande cloche de verre où peut être fait, par l'intermédiaire du cylindre B, un vide instantané. — R, R'. Robinets qui communiquent chacun avec l'un des cylindres A et A', que sépare une porte intérieure, marquée en pointillé. — *p*. robinet de communication avec C ; *r*, *r'* ; *d*, *d'* ; *s*, *s'*, *s''*, ouvertures et robinets pour prendre de l'air des cylindres, extraire le sang, etc. — *a*, *a'*. Thermomètres. — *m*, *m'*. Manomètres.

GRAND APPAREIL A AIR COMPRIMÉ (CYLINDRE DE TÔLE D'ACIER SUPPORTANT 12 ATMOSPHÈRES).



A. Courroie de transmission de la machine à vapeur. — B. Système d'engrenages. — C. Pompe Denayrouze à compression. — D. Serpentin pour refroidir l'air comprimé (ce serpentin devrait être élevé au-dessus du niveau de E). — E. Récipient pour recevoir l'eau condensée en D. — *a*. Robinet par lequel arrive l'air comprimé. — *b*. Manomètre. *c*. Gros robinet pour décompression brusque. — *d*. Robinet pour recueillir l'eau, l'urine contenues dans l'appareil. — *e*. Petit robinet pour recueillir le sang de l'animal fixé à l'intérieur. — *f*. Ouverture de fortes dimensions pour manipulations diverses.

POMPE A MERCURE POUR L'EXTRACTION DES GAZ DU SANG.



A. Chambre barométrique. — B. Réservoir mobile, en communication avec A par caoutchouc et tube de verre. — C. Cuvette à mercure pour recueillir les gaz. — D. Ballon plongé dans l'eau chaude, où, le vide étant fait, on introduit le sang par le robinet *r*. Le gros tube de verre qui part de D est entouré d'un courant d'eau qui refroidit les gaz et forme fermeture hydraulique. — R. Robinet à trois voies pouvant fermer complétement la chambre barométrique (position 1), ou faire communiquer soit A avec C (position 2), soit A avec D (position 3).

APPAREIL POUR AGITER LE SANG AVEC L'AIR A DE HAUTES PRESSIONS.



R. Grand robinet par lequel on fait la compression. — **r.** Robinet capillaire par où l'on prend le sang.

SERINGUE POUR RECUEILLIR ET MESURER LE SANG.



F. Ajutage mobile.

RECHERCHES SUR LES BRUITS

ET LES SONS EXPRESSIFS

QUE FONT ENTENDRE LES POISSONS D'EUROPE

et sur

LES ORGANES PRODUCTEURS DE CES PHÉNOMÈNES ACOUSTIQUES

ainsi que sur

LES APPAREILS DE L'AUDITION DE PLUSIEURS DE CES ANIMAUX

Par M. DUFOSSÉ (1).

CHAPITRE II.

§ 1.

J'ai consacré une grande partie du chapitre précédent à la démonstration des deux propositions fondamentales qui justifient complétement l'établissement de la division principale de la seconde section de ma classification des sons, et qui par cela même m'autorisent à en continuer ici l'exposition.

Tous les sons compris dans cette division principale doivent être partagés en deux groupes définis ci-dessous et en une sous-section dont il sera question plus loin.

Dans un premier groupe, que je nommerai première subdivision, je classerai : les phénomènes acoustiques produits par les vibrations sonores de muscles indépendants de la vessie pneumatique, vibrations sonores dont l'intensité ne suffirait pas à ébranler le milieu ambiant, si elles n'étaient transmises à cette vessie, qui les renforce.

Dans le second groupe, je rangerai les sons engendrés par cet ensemble d'organes que j'ai appelé l'appareil vésico-pneu-

(1) Voy. tome XIX, art. n° 5.

matique (1), et désignerai ce groupe sous le nom de seconde subdivision.

Première subdivision.

Les caractères acoustiques des sons classés dans cette subdivision ne diffèrent en rien de ceux décrits précédemment comme appartenant à la division tout entière.

Quoique des notions anatomiques me portent à penser que le nombre des Poissons qui sont capables de former des sons de l'ordre dont il s'agit ici soit assez grand, les données physiologiques que je possède sur ces animaux ne sont pas pourtant assez complètes pour que j'ose émettre une opinion formelle à cet égard ; aussi je me bornerai à faire connaître les faits qu'une étude opiniâtre m'a permis de constater sur trois espèces de Poissons, qui, jointes aux deux espèces qui ont servi de sujets aux démonstrations précédentes, forment une catégorie de cinq espèces.

Les organes producteurs de sons chez ces cinq espèces de Poissons ne se prêtent qu'incomplétement à un arrangement méthodique ; cependant l'exposition des faits rangés méthodiquement acquièrent une telle clarté, lors même que leur disposition méthodique n'est pas exempte de défauts, que je me suis décidé à ordonner ces espèces suivant le degré d'*adaptation de leur organisme aux fonctions productrices de sons*, en commençant par le degré le plus élevé. Je ferai observer seulement que l'organisme des Lyres et des Malarmats d'une part, et celui des Maigres d'autre part, sont pour moi du même degré, mais de deux séries différentes.

En conséquence des réflexions précédentes, j'ai rangé ces cinq espèces dans l'ordre suivant :

(1) Voy. Compte rendu de la séance du 17 février 1862, *Sur les différents phénomènes physiologiques nommés voix des Poissons*, 3e partie.

TABLEAU MÉTHODIQUE.

Première série.		Deuxième série.
Premier degré.		Deuxième degré.
Lyre.	Pour les deux séries	*Maigre de l'Aunis.*
Malarmat.	Deuxième degré. *Ombrine commune.*	
	Troisième degré. *Hippocampe à museau court.*	

C'est conformément à cet ordre qui, dans le cadre de rédaction adopté, n'a pu être exposé plus tôt, que j'ai déjà traité des Lyres et des Malarmats, et que je vais maintenant aborder l'examen des Maigres.

§ 2.

Considérations préliminaires. — Histoire naturelle.

Les Maigres et les Ombrines font partie de la nombreuse famille des Sciénoïdes, parmi laquelle se trouvent les Poissons qui, au dire des auteurs, ont le pouvoir de faire entendre des sons beaucoup plus forts que ceux qu'émettent tous les animaux bruyants de cette classe. Cette famille n'est représentée dans les mers d'Europe que par trois espèces de Poissons, dont les Maigres et les Ombrines sont les plus importantes.

La première de ces deux espèces est la seule qui jusqu'à ce jour a été admise au nombre des Poissons bruyants, sur les assertions de Duhamel du Monceau.

En faisant l'histoire de l'Ombrine commune, Cuvier dit positivement (1) qu'il ne connaît aucun auteur qui ait fait mention

(1) Voy. *Histoire naturelle des Poissons*, t. V, p. 17. Cuvier, qui avait étudié à fond la synonymie des Poissons au point de vue historique, affirme que les deux faits don il regrette de ne trouver aucune mention dans les ouvrages de ses prédécesseurs ont une telle importance, que si leur existence était bien constatée, la question relative au

de l'Ombrine « comme vivant en troupe et ayant la faculté de rendre un son ».

J'ajouterai qu'il n'est aucun ichthyologiste, que je sache au moins, qui, depuis la publication de l'ouvrage du savant que je viens de nommer, ait écrit un mot sur le sujet dont il est ici question.

Si les Maigres ne sont pas, de tous les Poissons bruyants connus jusqu'à ce jour, les plus grands et les plus vigoureux, ils sont certainement ceux qui, dans les mers d'Europe, réunissent au plus haut degré ces deux qualités. Les grands individus de cette espèce ont jusqu'à 2 mètres de longueur et pèsent 25 à 30 kilogrammes. Les Ombrines sont, dans les mêmes mers et après les Maigres, les *Pisces vocales* de plus grande taille ; elles atteignent ordinairement une longueur d'un mètre et un poids de 8 à 12 kilogrammes.

Les Poissons de ces deux espèces ont les mêmes mœurs : ils vivent en société, ou du moins réunis en nombre plus ou moins grand, et, dans leur jeune âge plus particulièrement, on rencontre les Maigrots, comme les pêcheurs de l'ancien Aunis nomment les Maigres de petite dimension, en compagnie avec les Ombrines. Mais c'est surtout au temps du frai qu'on voit ces animaux assemblés en troupe très-nombreuse et quelquefois en véritable banc.

Les Maigres adultes, qui ne se rapprochent guère des rivages que dans la saison où ils frayent, recherchent les pertuis où il y a de forts courants ou les baies au sein desquelles un fleuve vient se jeter, et dans les eaux courantes duquel ils aiment à suivre le flux et le reflux. Ils remontent souvent à plusieurs myriamètres au delà de l'embouchure des grands fleuves. Les Ombrines fréquentent les mêmes localités maritimes. Aux embouchures du Rhône, où l'on en prend beaucoup et sur les autres plages du même département qui donnent accès à quelques cours d'eau,

Chromis d'Aristote devrait être résolue, et que l'Ombrine commune ne serait autre que le poisson aristotélien.

C'est pour combler cette lacune signalée par Cuvier que j'insisterai plus particulièrement sur les mœurs de ce Sciénoïde dans le présent paragraphe.

les Ombrines viennent près de terre préférablement durant les mauvais temps causés par les vents du large, et quand, après quelques jours pluvieux, les vases charriées par les eaux douces troublent la transparence de la mer. Le long des côtes de la Charente-Inférieure et de celles de la Provence, le temps du fraï des Maigres dure des premiers jours du mois de mai à la fin de juin, et, dans la Méditerranée, celui des Ombrines commence en août pour finir en octobre. Dans ces deux espèces de Sciénoïdes, le mâle et la femelle sont doués, l'un et l'autre, de la faculté d'émettre des sons.

§ 3.

Sur les Maigres d'Europe

Considérations anatomiques. — La vessie pneumatique du Maigre, est par ses grandes dimensions, sa forme singulière et surtout par les fonctions qui lui sont dévolues, un des organes les plus intéressants qu'on ait trouvés dans les Poissons européens. Cuvier, dont elle avait vivement excité l'attention, l'a décrite, comme il dit lui-même, « sommairement » (1). En effet, il n'a pas mentionné plusieurs particularités fort importantes, surtout au point de vue sous lequel je dois examiner cet organe. Je me vois donc forcé de revenir sur la description de cet illustre anatomiste, en insistant sur les particularités auxquelles je viens de faire allusion.

La longueur de la vessie pneumatique du Maigre mesure presque le tiers de la longueur totale du poisson. Elle occupe une grande partie de la cavité abdominale et l'égale en longueur; elle ne s'ouvre pas dans les organes digestifs et est du reste parfaitement close de toutes parts. Ses parois ont une grande épaisseur (de 7 millimètres à 1 centimètre).

Ce que cette vessie offre de plus remarquable, c'est que son corps piriforme, allongé en pointe aiguë en arrière, est muni, sur les bords latéraux, d'appendices tubuleux et ramifiés (2). Ces

(1) Voy. *Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. 1, p. 1

(2) Pl. 17, fig. 11 *r, r, r, r, r, r, r, r, r, r, r*.

prolongements appendiculaires sont nombreux : il y en a ordinairement de trente-cinq à quarante-deux de chaque côté ; ils s'ouvrent chacun par un seul orifice dans la cavité du corps de la vessie. Chacun de ces appendices a une forme comparable à celle d'un petit arbrisseau effeuillé. Les plus grands sont situés dans le quart antérieur de la vessie à peu près à l'endroit où cet organe a le plus de largeur et correspond aux muscles de la couche profonde des grands latéraux (Cuvier), compris entre la troisième et la quatrième et entre la quatrième et la cinquième côte. En comptant d'avant en arrière ces appendices, les plus grands sont ordinairement : les sixième, septième, huitième, neuvième et dixième, et très-souvent ce sont les septième, huitième et dixième qui ont les plus grandes dimensions. Tous les autres vont en diminuant de grandeur, d'une part du sixième au premier, et d'autre part du neuvième au dernier. Celui-ci et les deux ou trois qui précèdent ont de très-petites dimensions ou ne sont que de simples tubes coniques. Le diamètre des premières ramifications des grands appendices est souvent plus grand que celui du tube qui leur sert de tronc commun.

A leur sortie du corps de la vessie, ces appendices tubuleux sont reçus dans un épais bourrelet de tissu conjonctif et adipeux assez consistant et d'une couleur rougeâtre (1), qui entoure les bords latéraux de ce réservoir à gaz et adhère faiblement aux appendices. La disposition des appendices n'est pas la même chez les Maigres adultes et chez les jeunes. Dans ces derniers, les ramifications tubuleuses qui sont proportionnellement peu développées se présentent pour la plupart sous forme de petits tubes simples, allongés, séparés les uns des autres par un léger enduit de tissu conjonctif, et composant par leur réunion une seule lamelle mince maintenue seulement près des aponévroses de l'abdomen par une couche peu épaisse du même tissu

(1) L'examen microscopique de ce tissu m'y a montré des fibres élémentaires de tissu conjonctif, beaucoup de cellules adipeuses et d'autres cellules présentant à leur intérieur plus ou moins de corpuscules, mais je n'ai pu apercevoir aucune trace de canaux excréteurs en rapport avec ces dernières cellules. Voy. pl. 17, fig. 11 *b'*, *b*, *c'*, *c*.

à mailles très-lâches; cette lamelle devient plus tard un bourrelet très-saillant.

Chez les adultes, beaucoup de ces ramifications tubuleuses, et les plus grosses en général, se montrent à nu et s'étalent à fleur de la surface supérieure de ce bourrelet, où elles adhèrent solidement aux aponévroses des muscles voisins. En outre, réunies plusieurs ensemble par le tissu adipo-conjonctif, les grosses et courtes ramifications des plus grands appendices font en dehors de ce bourrelet des saillies de forme arrondie plus ou moins proéminentes, qui s'enfoncent dans des dépressions que présentent d'autres muscles grands latéraux, revêtus de leurs aponévroses (1). Enfin, dégagées de tout tissu adipeux, quelques-unes des plus longues ramifications de ces mêmes appendices passent à travers des éraillures des aponévroses, s'insinuent entre les faisceaux charnus des muscles avoisinants, s'entremêlent à ces faisceaux et contractent avec eux des adhérences assez tenaces (2). C'est uniquement dans les différents points de ces entrelacements que les faisceaux charnus sont immédiatement en contact avec les parois de ces ramifications tubuleuses (3); quelques autres ramifications contournent les côtes en dehors desquelles elles se logent. J'en ai vu s'avancer à 4 centimètres de profondeur dans l'épaisseur des parois abdominales. Toutes les saillies de ces ramifications dans les muscles sont ordinairement

(1) Pl. 17, fig. 11, *s, s, s*.
(2) Pl. 17, fig. 11, *t, t, v, v*.
(3) L'illustre auteur du *Règne animal* n'ayant sans doute pas eu à sa disposition un assez grand nombre de Maigres pour résoudre la question de savoir si chez ces Poissons l'entrelacement des *productions branchues* (c'est ainsi qu'il nomme les appendices tubuleux) avec les faisceaux musculaires est ou n'est pas l'état normal, a omis de s'expliquer à cet égard, et a tourné la difficulté en disant que cet arrangement anatomique a lieu « quelquefois » (voy. *loc. cit.*). Quoique je n'aie pas eu l'occasion d'avoir à ma disposition des Maigres par centaines, j'en ai examiné une assez grande quantité pour me former une opinion à cet égard. Je pense que l'entrelacement dont il s'agit se voit assez souvent chez les mâles et les femelles d'un âge adulte confirmé, pour être regardé comme l'état normal de l'espèce. J'ai de plus constaté l'absence de cet entrelacement chez les femelles dont le développement n'était pas complet, et chez des mâles et des femelles dans lesquels la cloison membraneuse de l'orifice de beaucoup d'appendices tubuleux avait été crevée.

plus prononcées du côté gauche que du côté opposé. Cuvier supposait que ces saillies se formaient comme les hernies, par suite d'une trop grande quantité de gaz accumulés dans ces appendices. Cette supposition donne une idée si nette de la position respective des parties, qu'on devrait la conserver, lors même qu'on ne la considérerait que comme un expédient descriptif.

En ouvrant la vessie pneumatique d'un Maigre par une incision longitudinale faite sur la ligne médiane et à la face inférieure, on sépare, à la vérité, en deux parties les *corps rouges* (1) qui sont ici groupés en une lame épaisse assez étendue; mais cette incision est, sans contredit, celle qui permet le mieux d'observer fructueusement l'intérieur de la vessie, de remarquer que les orifices des appendices y sont rangés sur deux lignes latérales, symétriques, s'étendant d'un bout à l'autre de la cavité de la vessie, et de distinguer nettement les différentes membranes qui constituent cet organe. Ces membranes ou tuniques sont au nombre de trois.

La membrane externe, ou membrane propre, est fibreuse, très-compacte, assez solide, analogue du reste par sa texture à celle des vessies pneumatiques des autres Poissons (2). Son épaisseur constitue à elle seule presque toute celle que j'ai reconnue aux parois verticales. Cette tunique s'amincit pour former les appendices, mais à l'extrémité même des plus petits tubes elle est encore assez résistante. Cette fibreuse, cette membrane protectrice, ne fait défaut à la vessie qu'en avant, en haut et sur la ligne médiane, dans une petite étendue longitudinale, sur le pourtour de laquelle cette membrane s'insère, se soude intimement aux corps des premières vertèbres, laissant ainsi saillir à l'intérieur de la vessie une partie du corps de ces vertèbres. Cette fibreuse s'attache encore très-solidement aux apophyses transverses de quelques-unes des vertèbres suivantes, aux premières côtes par de très-fortes aponévroses, et adhère solidement par toute sa surface supérieure aux aponévroses de la voûte de la cavité du ventre.

(1) Pl. 17, fig. 12, *k*, *k*, *k*.
(2) Pl. 17, fig. 12, *r*, *r*.

La seconde membrane, ou la tunique moyenne, est muqueuse, pourvue de nombreux vaisseaux, presque transparente et cependant assez épaisse pour une muqueuse de cet ordre. Elle revêt la face interne de la fibreuse aussi bien dans les plus petites ramifications des appendices que dans le corps de la vessie, où elle recouvre la saillie des vertèbres et passe sur les *corps rouges* interposés, qui sont entre elle et la membrane externe.

Un fait qu'il m'importe de mettre dans tout son jour, c'est que cette tunique envoie une expansion membraneuse qui couvre l'orifice de chacun des appendices tubuleux. Chez les jeunes Maigres, cette expansion se déchire facilement; mais chez les adultes mâles, je l'ai vue constituer une cloison membraneuse assez solide, isolant complétement la cavité de l'appendice de celle du corps de la vessie, et tendue entre elles deux comme la membrane du tympan l'est chez les Mammifères entre l'air extérieur et celui contenu dans l'oreille moyenne; de plus elle adhérait si intimement à la muqueuse qui tapissait les appendices, qu'en tirant cette cloison vers l'intérieur de la vessie, on entraînait infailliblement avec elle la totalité de la muqueuse appendiculaire. Je pense que cette dernière disposition organique est normale chez les adultes d'un âge confirmé, et que lorsqu'on ne la rencontre pas, c'est qu'une trop grande accumulation de gaz ou autre accident a fait crever la cloison.

La troisième membrane, ou la plus interne, la tunique interne proprement dite, qu'on pourrait aussi nommer *diaphragmatique*, paraît avoir échappé à l'attention des anatomistes; je ne connais aucun auteur qui en ait fait mention (1). Cette membrane est beaucoup plus mince que la moyenne, moins pourvue de vaisseaux, mais muqueuse comme cette dernière. Une partie de cette tunique interne est libre par une grande étendue de ces deux faces, et une autre partie est adhérente par sa surface externe seulement. La première partie de cette tunique constitue un diaphragme horizontal percé à son centre de figure d'une large ouverture ovale d'une forme régulière, dont le grand axe

(1) Pl. 17, fig. 12, *d*, *d*, *f*, *f*.

se confond avec la ligne médiane du corps et dont les courbes latérales sont presque symétriques (1). Les bords de l'ouverture ont plus d'épaisseur que celle du diaphragme lui-même.

Cette demi-cloison membraneuse partage l'intérieur de la vessie en deux concavités d'inégales dimensions.

L'inférieure, ou *sous-diaphragmatique*, est plus grande que la supérieure, parce que dans cette dernière, ou *sus-diaphragmatique*, la partie postérieure de ce diaphragme adhère à la surface de la membrane muqueuse moyenne. Le pourtour extérieur de ce diaphragme s'attache à la membrane moyenne qui tapisse les parois de la cavité, membrane muqueuse moyenne à peu près à la hauteur des lignes suivant lesquelles sont rangés les orifices des appendices et sur les cloisons mêmes de ceux de ces orifices qui sont situés dans la portion la plus large de la vessie.

A partir de tous ces points d'attache, ce diaphragme se dédouble sur tout son pourtour en deux feuillets dont l'inférieur recouvre la membrane moyenne dans toute l'étendue de la concavité sous-diaphragmatique et est uni à cette tunique par de faibles adhérences; le supérieur se colle aussi à la muqueuse moyenne et peut être suivi plus ou moins loin dans la concavité sus-diaphragmatique, mais il s'amincit de plus en plus, et finit par se confondre avec cette seconde membrane vésicale.

Les organes auditifs des Maigres ont de tout temps attiré l'attention générale, en raison de la grosseur des pierres qui en font partie et qui avaient assez frappé l'imagination superstitieuse des peuples, pour qu'au XVIe siècle encore, elles fussent considérées comme des amulettes. Quelques anatomistes ont dessiné ces otolithes; d'autres ont parlé des cavités dont sont creusés, à leur surface externe, les os du crâne de ces Poissons. Toutefois,

(1) Les éléments histologiques du tissu de ce diaphragme diffèrent plutôt par leur disposition que par leur nature de ceux de la muqueuse moyenne. J'ai trouvé dans la texture du diaphragme, outre des couches de tissu d'épithélium lamelleux sur les deux faces, deux plans fort distincts de fibres élémentaires de tissu connectif et d'autres placés dans les bords de l'ouverture, ainsi qu'un assez grand nombre de fibres de tissu élastique; mais j'ai cherché avec le plus grand soin des fibres musculaires lisses, et n'en ai pas plus aperçu que je n'ai vu de faisceaux primitifs de tissu musculaire rayés en travers. (Voy. pl. 17, fig. 12, *d*, *d*, *ff*.)

comme ces cavités, aussi bien que tous les organes auditifs de ces animaux, ont seulement de plus grandes dimensions, mais sont du reste tout semblables à ceux qu'on rencontre chez les Ombrines communes dont les organes ont été examinés avec moins de soin par les auteurs, c'est en traitant de ces derniers Sciénoïdes que je donnerai les détails les plus importants sur l'appareil auditif de ces deux espèces.

Chez les Maigres, la moelle épinière, examinée au point où prennent naissance les nerfs spinaux des troisième, quatrième et cinquième paires, ces nerfs eux-mêmes dans leur trajet, dans leurs branches et leurs rameaux qui se distribuent aux muscles remplissant les intervalles des côtes correspondantes, ne présentent aucune particularité notable. Il en est de même de tous les muscles qui sont en contact avec les ramifications tubuleuses des appendices. Cependant j'ai remarqué qu'en général, dans les muscles dont les faisceaux charnus s'entremêlent avec les ramifications appendiculaires, les réseaux vasculaires sont plus développés, et qu'il en résulte que la couleur des muscles est plus rouge que celle des autres muscles de la couche profonde des grands latéraux.

§ 4.

Considérations physiologiques.

De tous les sons commensurables que forment les Poissons d'Europe, ceux qui sont propres aux Maigres sont les plus remarquables sous le double rapport de l'intensité des effets de sonorité que chaque individu peut faire entendre et des phénomènes acoustiques qu'ils produisent, quand ils sont réunis en grand nombre. Je n'ignore pas que les pêcheurs dont Duhamel a rapporté les allégations, ont avancé qu'on entend le bruit que font les Maigres recouverts par vingt brasses d'eau (36 mètres); n'ayant pas eu l'occasion de vérifier l'exactitude de cette assertion, je m'en tiens aux résultats des investigations que j'ai faites, et admets que les sons émis par ces Poissons peuvent être entendus d'un observateur dont l'oreille est placée à 2 mètres au-

dessus de la surface de la mer, lors même que ces animaux se trouvent sous l'eau à une profondeur de 18 mètres. Si l'on considère, d'une part, l'élévation de l'organe auditif de l'observateur au-dessus de l'eau, et, d'autre part, la grande quantité de vibrations sonores dont la direction trop oblique au plan de la surface aqueuse empêche la transmission du milieu liquide à l'atmosphère, on aura une idée approximative de la grande intensité initiale des vibrations communiquées au milieu ambiant par les différentes parties du corps du Maigre, et principalement par son abdomen.

L'oreille appliquée contre la paroi inférieure d'une petite embarcation à moitié pontée, j'ai bien des fois écouté les sons formés par trois ou quatre Maigres situés à quelque distance les uns des autres.

Ces sons n'ont de notable que leur tenue, qui ne se prolonge pourtant pas démesurément, et leur uniformité, qui va jusqu'à la monotonie la plus fatigante. Les sons instantanés sont exceptionnels. La durée moyenne du plus grand nombre d'entre eux est approximativement de vingt-cinq secondes, tenue bien suffisante pour qu'on en puisse facilement trouver l'unisson. Ordinairement le même son se reproduit un grand nombre de fois, laissant un très-court intervalle entre chaque reprise.

Leur timbre offre plusieurs variétés. L'assimilation descriptive que je vais faire d'un petit nombre d'entre elles servira, je l'espère, mon désir d'être compris ; mais il y a plusieurs aut es variétés dont je renonce à donner une idée suffisamment nette, faute de termes de comparaison. Le timbre le plus commun ressemble à celui d'un tuyau d'orgue ordinaire ou ancien (ou tuyau à embouchure de flageolet). Un autre timbre assez fréquent imite celui de la grosse corde d'un violoncelle, passant quelquefois à celui du *bourdon* d'une contre-basse. Quelques-uns sont moins doux encore, et ont quelque ressemblance avec celui d'une vielle ou même d'une crécelle ; mais d'autres sont clairs, purs et même éclatants, comparables alors au timbre d'un haut-bois, d'un harmonica ou d'un orgue à *anche métallique* (accordéon).

Si je m'en rapportais uniquement à l'examen fait dans les conditions énoncées aux trois alinéas précédents, je limiterais à trois ou quatre tons la différence du son le plus aigu au son le plus grave que chaque Maigre est capable de former. Mais bien des motifs me portent à penser que ces conditions fructueuses sous bien des rapports pour l'observation, ne sont pourtant pas celles dans lesquelles chacun de ces animaux déploie toutes ses facultés productives de sons.

Je m'abstiendrai donc d'assigner même approximativement le diapason moyen qui a été départi à chacun de ces Poissons. Enfin, pour ne rien omettre d'intéressant à l'égard de ces sons, je dirai qu'ils ont en général une grande tendance à dégénérer en un bourdonnement, soit par excès, soit par défaut d'intensité, soit par une autre cause, et que j'en ai entendu un certain nombre aux allures singulières, dont je n'ai pu me rendre compte qu'en supposant que chacun de ces sons, provenant évidemment d'un seul Maigre, était composé de deux ou même d'un plus grand nombre de sons, comme l'est le son complexe engendré par les subdivisions harmoniques d'une même corde ; mais dans le cas particulier que je cherche à expliquer, ces sons secondaires ne semblaient pas frapper l'oreille exactement en même temps que le son principal.

L'observateur qui aurait entendu seulement, soit ces espèces de répliques que chaque Maigre fait entendre, soit l'ensemble des trois ou quatre sons formés dans les circonstances dont il vient d'être question, ne pourrait guère avoir une idée de l'effet que produit l'association de ces sons, quand ils sont émis par un très-grand nombre de Maigres réunis.

On peut pourtant expliquer facilement cette différence par l'excitation que suscite chez chaque Poisson le rapprochement d'un si grand nombre d'individus de son espèce et le bruit même qu'ils font.

Ne voyons-nous pas les mêmes causes amener les mêmes résultats dans les rassemblements de certains oiseaux peu bruyants ordinairement, dont les cris et le ramage deviennent dans de semblables circonstances vraiment étourdissants ?

Au temps du frai, durant certaines années, les Maigres se réunissent en troupes assez nombreuses pour occuper, à quelque distance du fond et par places, une nappe d'eau d'une vaste étendue, et font retentir l'immense masse d'eau qui les recouvre des sons qu'ils forment avec toute la vigueur dont ils sont capables. Dans ces circonstances, il n'est pas de phénomène acoustique plus digne de l'attention des physiologistes, plus attrayant par son étrangeté même, que celui que pourra observer le naturaliste qui se résignera à se blottir dans la cale ou à s'installer moins péniblement dans la cabine, sous la ligne de flottaison, d'un bâtiment léger, d'un petit chasse-marée, par exemple, et parcourra ainsi, pour la première fois de sa vie, ces eaux tranquilles en apparence, mais frémissantes en réalité sous l'impulsion d'une énorme quantité de vibrations sonores se croisant en tous sens.

Il se peut que, favorisé par un hasard des plus heureux, le chasse-marée vienne à traverser un parage *en haut fond* où un grand nombre de Maigres seront rassemblés en véritable banc, où ils seront, pour ainsi dire, côte à côte (1). Tout à coup et tandis qu'une multitude de sons mystérieux, baroques, d'un charivari inouï, frapperont l'oreille du naturaliste, il se sentira saisi d'une sorte d'enivrement passager durant les courts instants duquel il aura bien de la peine à se défendre de quelques hallucinations auditives ; toutefois, redevenu observateur impassible, il ne tardera pas à constater que les parois du bâtiment qui le porte sont animées de mouvements vibratoires, et dès lors il distinguera nettement que c'est le tremblement physique qu'il ressent qui produisait le trouble nerveux auquel il a été un moment en proie, et par suite il trouvera le secret du léger degré d'enivrement qu'il a éprouvé dans la triple nouveauté des sensations qui sont venus inopinément et simultanément envahir tout son être : nouveauté de la surexcitation nerveuse résultant des mouvements de trépidationdu chasse-marée ; nouveauté encore de la

(1) Dans ces rassemblements, ces Poissons sont quelquefois si près les uns des autres, que plusieurs pêcheurs, des officiers de marine, d'autres marins et des marchands de marée, m'ont affirmé qu'on a vu prendre d'un seul coup de filet jusqu'à près d'une trentaine de ces animaux.

nature même des sons étranges qui fascinaient ses organes auditifs; nouveauté enfin du mode de transmission des vibrations sonores qu'il percevait à travers un milieu liquide (1).

Si le bâtiment suit les forts courants descendants vers le large, le naturaliste aura des chances de rencontrer une compagnie de Maigres qui, selon leurs habitudes, se dirigent dans le même sens. Il devra s'empresser d'ordonner au pilote de suivre les Poissons *au go*, comme disent maintenant les pêcheurs, c'est-à-dire de conduire le bâtiment dans les eaux qui vibrent en raison de la présence ou du récent passage de la compagnie bruyante. Alors il pourra entendre à loisir d'abord ces assemblages de sons extraordinaires, bourdonnant comme le feraient un grand nombre de jeux d'orgues qui seraient complétement désaccordés, cacophonie d'une bizarrerie indescriptible, auxquels tous les Sciénoïdes du groupe auront pris part; et quand il aura suffisamment scruté ces morceaux d'ensemble discordants, il ne devra pas négliger d'étudier les sons isolés que bientôt après rendra successivement, et comme à son tour, chacun des Maigres. Je ne crains pas d'avancer que cette étude comparative sera pour lui d'un saisissant intérêt.

Enfin, dans des circonstances beaucoup moins rares, si le chasse-marée rencontre sur son trajet un groupe de Maigres distants les uns des autres, comme ils le sont assez souvent, les vibrations sonores que le naturaliste entendra, sans être aussi intéressantes que celles que j'ai décrites plus haut, n'en captiveront pas moins toute sa curiosité; il analysera promptement ses sensations, et cette analyse lui procurera une satisfaction qui surpassera son attente.

Tout ichthyologiste qui aura entendu ces effets de sonorité se rappellera :

1° Les concerts sous-marins qui ont si vivement excité l'ad-

(1) Une pareille occasion, rare en France, serait, si l'on veut en croire des renseignements recueillis dans les localités mêmes et de la bouche des pêcheurs, si commune aux embouchures des fleuves de la péninsule Ibérique, tels que ceux du Guadalquivir, de la Guadelete et de l'Èbre, non loin de Tortose, etc., que chaque année elle se renouvelle plusieurs fois.

miration de John Vhite (1), de Sir Emerson Tennent (2), du docteur Adam (3) et M. George Buist (4), dans les mers des Indes, et que ces voyageurs se sont plu à dépeindre ; 2° les assertions de Schöpf (5) relatives aux *Drum* (*Labrus Chromis*) ; 3° le fait dont le célèbre Humboldt a été témoin dans la mer du Sud, le 20 février 1803, sans qu'il en soupçonnât la cause (6).

Du rapprochement de tous ces faits, l'ichthyologiste conclura qu'ils diffèrent bien peu les uns des autres, qu'ils se confirment ainsi réciproquement, et que c'est à bon droit qu'on en a attribué la cause aux bruits que peuvent produire des Poissons, et en particulier des Sciénoïdes.

L'analogie qu'il y a entre tous ces phénomènes acoustiques est si frappante, qu'ils ont donné lieu à des méprises identiques. Ainsi, les pilotes de Royan m'ont affirmé qu'un capitaine au long cours, dont le bâtiment remontait la Gironde, fut saisi d'une grande frayeur en entendant pour la première fois les sons émis par plusieurs Maigres auprès de son navire, parce qu'il s'imaginait que le bruit qu'il entendait provenait d'une voie d'eau qui venait de s'effectuer dans la cale du bâtiment (7). Assurément aucun de ces pilotes ne connaissait le nom de Humboldt, ni le fait dont ce savant avait été témoin, et leur ignorance à cet égard est un sûr garant de la sincérité de leur affirmation. Je ne connais pas de vérification plus péremptoirement probante que la coïncidence de ces méprises

(1) Voy. *History of a voyage to the China*, p. 187. London, 1823.

(2) Voy. *the Athenæum, Journal of English and foreign Literature, Sciences and fineArts*. London, Saturday, August 2, 1860, n° 1711.

(3) Voy. même numéro du susdit journal.

(4) Voy. *ibid.*

(5) Voy. *Écrits de la Société des naturalistes de Berlin*, t. VIII, p. 138.

(6) Voy. G. Cuvier et Valenciennes, *Histoire naturelle des Poissons*, t. V, p. 199.

(7) Ce fait m'a été affirmé par ces pilotes en présence de l'un de leurs chefs administratifs, M. Tartara, commissaire de marine à Royan (Charente-Inférieure). Je ne puis nommer M. Tartara sans céder au désir de lui adresser publiquement mes remercîments pour l'appui qu'il a bien voulu prêter à mes recherches sur le littoral confié à son administration, et pour la bonne volonté dont il a fait preuve en mettant au service de la science son intelligente activité et les connaissances variées et étendues qu'il

pour montrer que ces sons ont une parfaite similitude, et que Cuvier a eu raison de rapporter à des vibrations sonores produites par des Sciénoïdes l'incident maritime raconté par de Humboldt (1).

Des vivisections presque de tout point semblables à celles que j'ai faites sur les Malarmats et les Lyres m'ont prouvé : 1° que

(1) Le rapprochement que je viens de faire des narrations des voyageurs et de mes observations sur les sons propres aux Maigres a encore l'avantage de prouver que si les mers de l'Asie et de l'Amérique offrent aux touristes des phénomènes acoustiques assez curieux pour exciter leur enthousiasme, les mers de l'Europe, qui peuvent être moins bien partagées à cet égard, ne présentent pas moins des phénomènes d'un intérêt saisissant non-seulement pour les physiologistes, mais aussi pour les physiciens, les artistes savants, et même pour les archéologues.

Je n'ose espérer qu'un archéologue s'intéresse assez à la solution de la question que je vais poser, pour chercher à vérifier les plus attrayants phénomènes acoustiques dont je m'occupe. Il n'est pourtant pas impossible qu'un de ces savants, né ou devenu touriste par circonstance, ait la fantaisie de s'aventurer jusqu'à entreprendre une telle recherche et qu'il réussisse à entendre les plus intéressantes de ces vibrations sonores. Cette circonstance serait pour moi toute une bonne fortune, parce que ce n'est qu'à un savant muni de telles données expérimentales que je serai tout heureux de soumettre la présomption que j'exprime comme il suit : S'il est un phénomène dans la nature qui a pu accréditer la croyance mythologique relative aux Sirènes, c'est assurément l'ensemble des sons *nuptiaux*, des étourdissants *épithalames*, comme aurait dit Plutarque, que font entendre les Maigres réunis en grand nombre au temps du rut.

Je ne puis entrer ici dans tous les détails justificatifs de cette proposition, je n'en exposerai que quelques-uns : 1° l'origine ichthyologique de ces sons et la grande taille des Poissons qui les produisent, et qui pouvaient les faire passer pour des *monstres marins* (les Maigres ordinairement ont 2 mètres de longueur) ; 2° le caractère mystérieux de ces sons sous-marins ; 3° la frayeur instinctive que l'ébranlement général du navire, cette sorte de tremblement de terre en miniature, devait nécessairement causer à des marins primitifs, se trouvant dans les cryptes ou des pertuis dont les eaux couvrent des hauts-fonds ou des écueils multipliés, cryptes où se réunissent par prédilection ces animaux au temps du frai ; 4° l'habitat que les poëtes prêtaient à ces monstres marins. le *fretum Siculum*, plus tard le *détroit de Messine*, et les parages de Charybde et de Scylla, localités où, suivant Athénée, on pêchait le noble *Latus* : « ce poisson, ce manger merveilleux » (*a*). Rondelet et Cuvier, qui supposaient que le *Latus* des anciens est le Maigre, sont aussi d'accord avec Paul Jovius (*b*) pour rapporter qu'au XVe siècle encore, c'était des côtes de l'Italie, du sud de la Péninsule, qu'on faisait venir le plus grand nombre des Maigres qu'on mangeait à Rome, et que la tête de ces poissons était un morceau dont raffolaient les gourmets et tous les grands seigneurs vantés pour le raffinement de leur table.

(*a*) Voy. Athénée, dans les *Dipnosophistes*, livre VII, p. 311.

(*b*) Voyez Pauli Jovii Comensis medici *de Romanis piscibus libellus ad Ludovicum Borbon. cardinalium amplissimum.* In officina Frobeniana, anno 1552.

chez les Maigres les sons peuvent être produits par la vibration de la plupart des muscles qui, revêtus de leurs aponévroses, sont immédiatement en contact avec les appendices vésicaux, mais que les plus fréquents et souvent les plus forts proviennent de la vibration des muscles dont les faisceaux charnus, complétement à nu, sont entremêlés avec les longues ramifications des plus grands appendices; 2° que les muscles producteurs de vibrations sonores sont soumis à la volonté de l'animal, et que conséquemment les Maigres émettent des sons volontaires.

Sur de petits sujets adultes et vigoureux, et qui étaient en train de former des sons, j'ai coupé à leur sortie de la colonne vertébrale les nerfs spinaux des troisième, quatrième et cinquième paires, d'abord d'un seul côté : les sons ont perdu aussitôt de leur force et de leur fréquence. J'ai tranché ensuite les trois nerfs des mêmes racines du côté opposé : la force et la fréquence des sons ont alors diminué dans une bien plus grande proportion, mais les sons n'ont pas été complétement anéantis.

Les résultats de cette expérience confirment toutes les conséquences que je viens d'énoncer comme étant déduites de mes premières vivisections sur les Maigres, et cette confirmation me paraît si évidente, que je crois inutile toute explication à cet égard.

Le mécanisme de la production des sons chez les individus de l'espèce *Sciæna Aquila* est plus compliqué que celui des Poissons dont j'ai parlé jusqu'à présent. Je n'ai nullement la prétention de donner la théorie de ce mécanisme; j'espère seulement préparer la solution de ce problème d'acoustique, en considérant l'ensemble des organes producteurs des sons et en présentant quelques réflexions sur la disposition des diverses parties de ces organes, sur leur connexion et sur la marche des ondes sonores, réflexions qui auront toujours la même valeur, quelle que soit la théorie que l'on adopte.

Il existe chez ces Sciénoïdes non-seulement un grand nombre de muscles différents capables, en se contractant, d'engendrer des vibrations sonores, transmissibles, mais encore une quantité correspondante de diverses cavités retentissantes propres à rece-

voir ces vibrations. Car toutes les cavités tubuleuses d'un même appendice, aboutissant à un tube unique dont l'orifice est complétement bouché par une cloison membraneuse, constituent, il faut bien le remarquer, un système particulier de cavités retentissantes dont toutes les parois, à l'exception de celle formée par la cloison, sont de toutes parts adhérentes, soit à des muscles, soit au tissu adipo-conjonctif du bourrelet, tissu qui, n'étant pas conducteur du son, les isole entièrement les uns des autres, et par conséquent leurs parois n'ont pas la liberté de vibrer indépendamment des organes qui leur sont contigus. Ces systèmes différant les uns des autres, et par leur configuration, et par leur grandeur, doivent modifier, chacun à sa façon, les vibrations sonores qui les ébranlent. De plus, ces modifications doivent varier d'abord suivant que la totalité des ramifications tubuleuses d'un même système sont mises en jeu en même temps, ou qu'une partie seulement de ces ramifications vibrent à la fois; suivant ensuite que deux ou trois ou une combinaison quelconque de ces nombreux systèmes entrent en action simultanément.

Il suit de là qu'une grande quantité de modifications deviennent possibles, en supposant même que les vibrations engendrées par tant de muscles différents soient identiquement les mêmes; cette supposition étant toute gratuite, on peut penser que ces modifications sont très-nombreuses.

Du reste, aussitôt que quelques points d'un des tubes ramifiés d'un de ces systèmes entrent eux-mêmes en vibration et font vibrer à leur unisson la cloison membraneuse qui forme la limite interne de la cavité de l'appendice que l'on considère, cette cloison membraneuse qui, dans l'état de distension où les fluides aériformes maintiennent toutes les cavités vésicales, est fortement tendue entre les cavités du corps de la vessie et celle de l'appendice; cette membrane, dis-je, s'agitant librement, communique les vibrations sonores dont elle est animée aux gaz renfermés dans la cavité du corps de la vessie, et dans cette vaste cavité ces vibrations peuvent acquérir une intensité considérable, comme le prouvent la force extraordinaire des sons produits et la vigueur

non moins remarquable des oscillations qu'exécute la paroi inférieure de l'abdomen d'un Maigre pendant qu'il émet des sons.

Quelle part le diaphragme membraneux peut-il prendre à la formation ou à la propagation des sons? Pour répondre à cette question, il faut considérer que rien, dans la nature de son tissu, dans sa forme ou sa situation, ne peut faire soupçonner que ce diaphragme joue un rôle actif dans la production primitive des vibrations sonores, production qui, on ne saurait plus en douter, est due exclusivement aux muscles, à la trépidation musculaire. Il ne reste donc plus qu'à rechercher si ce diaphragme a quelque action dans les modifications secondaires que peuvent subir ces vibrations sonores. Comme ce voile membraneux s'attache à quelques cloisons, lorsque plusieurs de celles-ci viennent à vibrer en même temps, on pourrait croire, au premier abord, qu'il doit être la première partie du corps de la vessie qui entre en vibration; mais en examinant de plus près les conditions indispensables à la transmission de ce mouvement, il deviendra évident que ce diaphragme a trop d'étendue dans sa partie complétement libre, et des points d'attache à un trop petit nombre de cloisons, pour que cette petite quantité de mouvements transmis puisse agiter une portion notable de sa masse; il paraît donc bien plus probable que ce n'est que lorsque tout le corps de la vessie a été mis en branle par les vibrations des gaz qu'elle contient, que ce voile membraneux est entraîné à vibrer lui-même, simplement comme une partie constitutive de cet organe, et que, dans ce cas, il contribue à augmenter le bourdonnement qu'on remarque dans beaucoup de sons. On ne doit donc, en définitive, attribuer à ce diaphragme qu'un effet bien accessoire, bien peu important dans l'émission de ces phénomènes acoustiques. Pour appuyer mon opinion à cet égard, je rappellerai qu'il n'y a pas trace de diaphragme dans la vessie pneumatique des Lyres, ni dans celle des Malarmats, chez ces Poissons qui forment des sons différant peu de ceux que je regarde comme les plus parfaits; et j'ajouterai qu'un diaphragme analogue à celui des Maigres se trouve dans la vessie de beaucoup d'autres Poissons qui ne sont pas au nombre des

Pisces vocales, tels que plusieurs espèces de Gades : *Gadus Merlucius*, *G. Callarias*, et de Sparoïdes : *Sparus Sulpa*, Linn., *Sparus erythrinus*, Linn., etc.

Je ne crois pas devoir insister ici pour démontrer que ces singuliers appendices tubuleux de la vessie pneumatique, ces systèmes de cavités dont les parois sont en dehors matelassées par des couches d'un tissu non conducteur de sons ; que ces cloisons membraneuses et tendues entre les cavités du corps de la vessie et les différentes cavités appendiculaires, cloisons si bien placées pour vibrer; que l'énorme appareil de renforcement représenté par le corps de la vessie avec son diaphragme ; que ces tubes membraneux gonflés de gaz entremêlant leurs extrémités nues avec des faisceaux musculaires dépourvus d'aponévroses aux points de contact, forment un ensemble d'organes producteurs de sons, un instrument de musique si extraordinaire, si nouveau, qu'il justifie complétement la place que j'ai assignée à l'organisme du Maigre dans le tableau précédent.

Les deux autres faits déjà reconnus vrais par tous les auteurs, aussi bien que par les pêcheurs et autres gens de mer interrogés par moi à cet égard, faits que j'ai vérifiés, sont ceux dont voici l'énoncé :

« 1° Les Maigres n'émettent que bien rarement des sons quand ils sont isolés, et dans ce cas ces vibrations sonores sont faibles, sourdes et n'ont pas de tenue.

» 2° Quand ces Poissons sont réunis, et quand surtout leur réunion a lieu au temps du frai, ils ne cessent pas, pour ainsi dire, de faire entendre des sons avec une vigueur et une persistance qui paraîtraient devoir épuiser leurs forces. »

Ces faits ne m'autorisent-ils pas à conclure, je le demande, que ces sons, dont les Maigres ne font un si fréquent usage que dans le cas où ils peuvent parvenir aux oreilles des individus de leur espèce, ne sont que des manifestations à l'aide desquelles ils s'entendent entre eux, puisqu'ils ne s'en servent guère en l'absence de leurs congénères, et qu'ils ne les prodiguent qu'au temps du frai, dans les circonstances semblables à celles où tant

d'autres animaux dont nous sommes à portée d'entendre la voix, nous fatiguent par leurs clameurs?

§ 5.

Sur les Ombrines communes (*Umbrina cirrosa*, Linn.).

Plusieurs parties de l'organisation du Maigre ont une telle analogie avec celle de l'Ombrine commune, qu'en comparant les premières, qui sont maintenant connues du lecteur, avec celles du second poisson, je pourrai abréger considérablement les notions anatomiques que je vais donner sur cet animal.

La vessie pneumatique de l'Ombrine diffère de celle du Maigre par l'absence d'appendices tubuleux, et par quelque partie de sa forme.

Je n'entrerai dans aucun détail à l'égard des dimensions de la vessie pneumatique de l'Ombrine comparées à celles du corps du Poisson; de la place que cette vessie occupe dans le ventre; des solides attaches de ce réservoir à gaz avec les os et les aponévroses abdominales, de l'épaisseur de ses parois; du nombre des membranes qui entrent dans sa composition, de la nature de ces membranes et des relations qu'elles ont les unes avec les autres; de la continuité des tuniques internes de la vessie qui en forme une cavité parfaitement close; enfin du diaphragme que constitue une partie de la membrane muqueuse interne, parce que toutes ces choses sont si analogues à celles que l'on rencontre dans le Maigre, que la description que j'en ai faite dans ce dernier poisson donnera une connaissance suffisante de ce qu'elles sont dans l'Ombrine.

La vessie pneumatique de ce Sciénoïde est fusiforme, et sa partie renflée présente trois bosselures qui vont en diminuant de grandeur de l'antérieure à la postérieure, et qui, par leur position latérale et leur rapport de contiguïté avec les muscles de la couche profonde des grands latéraux qui remplissent les intervalles de la troisième à la quatrième et de la quatrième à la cinquième côte, rappellent les saillies épaisses et arrondies formées par la réunion de plusieurs des ramifications des plus

grands appendices tubuleux du Maigre (1). Si l'on ouvre la vessie de l'Ombrine, on voit que les bosselures répondent de chaque côté à trois sinus larges, courts, arrondis, séparés transversalement chacun par un repli formé par la membrane muqueuse moyenne et par une duplicature de la membrane fibreuse (2). La membrane muqueuse moyenne n'envoie aucune expansion pour clore l'entrée de ces larges sinus, mais elle les revêt en suivant leurs cavités et leurs replis saillants, et c'est dans ces dépressions et sur ces saillies qu'une partie du pourtour extérieur du diaphragme horizontal vient s'attacher à cette muqueuse (3). Chez les jeunes Ombrines, ces sinus n'existent pas et ne se constituent qu'à l'âge de la puberté. Du reste, chez les adultes on ne trouve quelquefois que quatre sinus, d'autres fois trois, et d'autres fois encore deux seulement, et l'on n'en voit que des traces chez ceux de ces animaux dont la vessie a été distendue par une trop grande quantité de gaz.

Les os du crâne de l'Ombrine présentent à l'extérieur une série de cavités communiquant entre elles, et formant une gouttière assez profonde qui entoure le pourtour antérieur de cette boîte osseuse et s'étend d'un des os mastoïdiens à celui du côté opposé. Ces cavités, seulement recouvertes par la peau, sont tapissées par une membrane synoviale dont la sécrétion est si peu abondante, qu'on la trouve presque constamment remplie de gaz ; elles sont en arrière assez voisines des sinuosités de la cavité externe du crâne que parcourent une partie des canaux semi-circulaires antérieur et postérieur. Il est évident que ces cavités plus ou moins remplies de liquide ou de gaz sont très-propres à recueillir les plus faibles vibrations sonores qui peuvent être communiquées au poisson par le milieu ambiant, à augmenter l'intensité de ces mouvements de vibration et à les transmettre aux appareils de l'ouïe.

Les organes auditifs de ces Sciénoïdes ont en général une forme et une disposition analogues à celles des mêmes organes

(1) Pl. 18, fig. 13.
(2) Pl. 18, fig. 14, *s, s, s, s, s, s*.
(3) Pl. 18, fig. 14, *e, f, k, k*.

chez la plupart des Poissons osseux; mais chez les Ombrines ils diffèrent des autres par leur plus grande dimension et par une modification peu commune dans la position des sacs à pierre.

Pour donner une idée de la grandeur de ces organes, je dirai que chez les adultes de grande taille le vestibule a, en moyenne, de 16 à 20 millimètres de longueur; que les grands sacs ont aussi, en moyenne, de 25 à 28 millimètres de longueur sur 22 de largeur, et que les canaux semi-circulaires, leurs ampoules et autres parties de l'oreille, ont un volume en proportion avec celui des organes que je viens d'indiquer.

Des anfractuosités de la cavité interne du crâne, celle qu'on voit en bas et en arrière a plus d'un tiers de la grandeur de la cavité entière de cette boîte osseuse. Largement ouverte en avant et se rétrécissant en arrière, cette anfractuosité loge les quatre sacs à pierre (ou les deux sacs et les deux cysticules de Bréchet) des deux oreilles, dont les deux grands adhèrent l'un à l'autre par une grande partie de leur côté interne, et ont presque toute l'étendue de leur surface supérieure en contact avec une très-mince cloison membraneuse sur laquelle repose plus de la moitié postérieure de la base du cerveau. C'est donc en définitive sur ces grands sacs que s'appuie une partie de la substance cérébrale, et notamment celle d'où naissent les nerfs acoustiques. Aucun naturaliste n'a, je crois, fait remarquer que de l'union des deux grands sacs sur la ligne médiane et de leur contiguïté médiate avec la moelle allongée, il résulte que le moindre ébranlement d'un des sacs ne peut manquer de se propager, non-seulement aux trois autres sacs et aux ramifications nerveuses qui s'y distribuent, mais encore à la partie du cerveau où plongent et s'irradient les quatre troncs des nerfs acoustiques. Les branches et rameaux de ces derniers, qui sont destinés aux quatre sacs à pierre et aux deux dilatations des vestibules (les utricules de Bréchet), contenant chacun un otolithe, sont comparativement très-gros.

Quelque succinct que soit ce précis anatomique et physiologique sur ces cavités du crâne et ces organes auditifs, il ne

permet pas de douter que leur ensemble ne donne à l'ouïe de ces animaux un degré de perfection que n'atteint pas celle de la plupart des autres Poissons.

En terminant ces considérations, je rappellerai que ces sinus externes des os du crâne et les appareils auditifs des Maigres sont conformés et disposés exactement comme ceux sur lesquels je viens de présenter quelques données; mais qu'ils ont des dimensions d'un tiers ou d'une demi-fois encore plus grandes, et que ce que j'ai dit sur le degré de perfectionnement que supposent chez les Ombrines de telles dispositions organiques, s'applique également aux individus de l'espèce *Sciæna Aquila.*

Mes fréquents et longs campements sous les cabanes des pêcheurs des côtes de la Camargue m'ont permis de séjourner assez de temps sur ces plages marécageuses pour suivre plusieurs phases du développement des Ombrines. L'une de celles qui précèdent l'âge de puberté est notable par la faculté qu'ont les sujets, longs alors de 2 à 3 décimètres, de faire exécuter fréquemment des mouvements de frémissement tantôt à toute la partie inférieure de leur corps, tantôt à leurs parois abdominales seulement. Ces frémissements sont de tout point semblables à ceux que j'ai constatés chez les Lyres et les Malarmats, dans mes démonstrations expérimentales. Ces petits mouvements, très-sensibles à la surface extérieure de l'abdomen, le sont beaucoup moins à l'intérieur du ventre et sont presque nuls vers la voûte de cette cavité. La répartition de l'intensité de ces mouvements explique pourquoi ils ne seraient pas bruyants, lors même que la vessie aurait acquis un degré de développement plus avancé que celui auquel elle est parvenue à l'âge des individus dont il est ici question. Toujours est-il que la multiplicité de ces mouvements de frémissement démontre l'aptitude que possèdent les fibres musculaires de ces animaux à engendrer des mouvements de cette espèce, aptitude qui s'étend alors à un grand nombre de muscles, et qui, par cela même, est un peu confuse chez les jeunes sujets, mais qui se concentrera plus tard dans les muscles de la couche profonde des grands latéraux, à l'âge où l'appareil de renforcement, étant suffisamment

développé, sera convenablement disposé pour recevoir ces petits mouvements et pour leur donner la force nécessaire à ébranler le milieu ambiant.

Les sons que font entendre les Ombrines sont bien peu variés. Ils sont en général sourds et n'ont qu'une tenue plus ou moins courte. De ces sons, celui qui se répète le plus souvent est analogue au bruit qu'on tirerait d'un tambour militaire dont les parois membraneuses seraient mouillées et sur l'une desquelles on donnerait un coup avec un tampon de grosse caisse. C'est la comparaison qui exprime le mieux la sensation auditive que ce son m'a fait éprouver, et qui donne une idée de son timbre. Les sons qui se succèdent à un court intervalle sont ordinairement du même ton. Mais quand ils atteignent le plus haut degré de perfectionnement, leur tenue augmente assez pour qu'ils deviennent commensurables; en cet état, ils se suivent très-rapidement et ont alors quelque ressemblance avec le roulement d'un tambour. Leur ton se maintient dans la gamme de ut_2 à ut_3, et le diapason de chaque individu ne comprend guère que trois tons et deux demi-tons de cette octave.

Il arrive rarement que, parvenant à se débarrasser du bourdonnement qui leur est ordinaire, ces sons se modifient assez pour rappeler les frôlements sonores d'un tambour de basque n'ayant ni grelots ni castagnettes métalliques, sur lequel on fait glisser, en l'appuyant, la pulpe du pouce. L'intensité de ces sons, comme on doit le présumer d'après la description qui précède, n'est pas grande. Quand ils sont produits dans l'atmosphère, c'est au plus s'ils sont entendus distinctement à une distance de 2 mètres et demi. De ce qu'ils ne se propagent pas au loin dans un milieu gazeux, on aurait tort de conclure qu'il doit en être de même dans l'eau; je m'expliquerai à cet égard dans une autre partie de ce mémoire.

Les vivisections, et par suite les expériences compliquées, étant plus faciles à pratiquer sur les Ombrines que chez les Maigres, j'en ai exécuté beaucoup plus sur celles-là que sur ces derniers. Ces expériences, toutefois, sont tellement semblables à celles que j'ai faites sur les Maigres et diffèrent si peu de celles sur les-

quelles sont basées les proportions fondamentales (voy. *Lyres* et *Malarmats*), que ce serait vouloir à plaisir tomber dans des redites que de décrire à nouveau les opérations expérimentales à l'aide desquelles je me suis convaincu : 1° que les sons produits par les Ombrines résultent principalement de la vibration des faisceaux musculaires de la couche interne des muscles en contact, par diverses aponévroses, avec les bosselures et les replis de la vessie pneumatique ; 2° que plusieurs muscles voisins des premiers, ainsi que beaucoup d'autres plus ou moins éloignés de ceux-ci, qui tous sont médiatement en contact avec d'autres parties des parois vésicales, engendrent des vibrations sonores qui sont transmises moins directement, il est vrai, au réservoir à gaz, mais qui contribuent encore à la formation de certains sons.

Quant au mécanisme de la formation des sons chez les Ombrines et à la place qu'il convient de donner à l'organisme de ces Poissons dans la série des degrés d'adaptation aux facultés productrices de sons, je me contenterai d'exposer les réflexions suivantes :

Le diaphragme horizontal de la vessie pneumatique n'a, dans la modification des sons produits, qu'une influence analogue à celle si secondaire que j'ai reconnu être la seule du diaphragme du Maigre d'Europe.

Les muscles qui, en raison de leur position, peuvent engendrer et transmettre à la vessie des vibrations sonores, sont en réalité plus nombreux chez les Ombrines que chez les Maigres, parce que chez ces derniers le bourrelet adipeux qui borde si largement les côtés de ce réservoir à gaz sépare cet organe de beaucoup de muscles avoisinants, et, par la nature de son tissu, s'oppose à la transmission de tout mouvement vibratoire. Il semble tout d'abord que cette grande quantité d'agents producteurs doive augmenter le nombre ou la puissance des sons ; mais si l'on a égard à la position des nombreux muscles qui sont plus ou moins éloignés des bosselures de la vessie, et qui pourtant ont encore des rapports de contiguïté avec les parois vésicales, on s'aperçoit bientôt que cette position est telle qu'elle rend la

transmission des sons difficile, confuse, et conséquemment qu'elle est d'autant plus nuisible aux effets acoustiques que ces muscles sont plus nombreux. Cette disposition organique suffit à elle seule à expliquer l'infériorité notoire des sons dans cette espèce de Poisson, et doit faire ranger l'organisme des Ombrines, comparativement à celui des Maigres, à un degré inférieur d'adaptation aux fonctions productrices des sons. Du reste, on comprendra mieux ce degré d'infériorité en le comparant, comme je le ferai bientôt, au degré d'adaptation qui est propre à l'organisme des Hippocampes à museau court.

Les raisons que j'ai fait valoir pour prouver que les sons que produisent les Maigres doivent être considérés comme des manifestations à l'aide desquelles ces animaux peuvent communiquer leurs sensations instinctives aux individus de leur espèce et à leurs congénères, sont applicables aux sons qu'émettent les Ombrines.

§ 6.

De l'Hippocampe à museau court

(*Hippocampus brevirostris*, Cuvier, Willughby, pl. 25, fig. 25).

Les notions que possède la science sur les Hippocampes, qu'on nomme aussi vulgairement Chevaux marins, sont fort incomplètes. L'anatomie et la physiologie de ce genre si intéressant pour l'ichthyologiste sont presque entièrement à faire.

Considérations anatomiques (1). — Chez les Hippocampes, les muscles vertébraux sont les seuls qui présentent une masse de fibres de quelque importance. Sous le nom collectif de muscles vertébraux, je comprends tous les muscles que je vais désigner

(1) Dans le petit nombre d'ouvrages que j'ai pu consulter sur l'anatomie des Hippocampes, je n'ai trouvé que quelques données relatives aux parties organiques externes de ces animaux, données tout au plus propres à leur classification systématique ; aussi ai-je été dans la nécessité d'assigner des noms à presque tous les organes dont j'ai eu à parler. Pour tous ces nouveaux noms je réclame du lecteur l'indulgence qu'il est juste qu'il accorde à une portion isolée d'une nomenclature que je ne peux lui soumettre dans son ensemble sans m'écarter trop de mon sujet.

chacun par une appellation qui en fera suffisamment connaître les attaches ; ce sont : les interapophysaires épineux, les interapophysaires transverses et les interapophysaires inférieurs, enfin les longs vertébraux. Ces derniers font exception en ce qu'ils se fixent à des vertèbres plus ou moins distantes les unes des autres.

Les grands muscles latéraux (Cuvier) qui, chez la plupart des Poissons, ont un volume si considérable, qu'ils constituent à eux seuls la majeure partie du corps, sont internes et représentés ici : 1° par deux lanières musculaires que j'appellerai muscles longo-latéraux, parce qu'ils longent, depuis la tête jusqu'à la queue, le bord inférieur des muscles vertébraux, en s'insérant chacun à l'un des côtés et à la partie supérieure de chacun des anneaux du corps (1) ; 2° par les muscles situés entre les

(1) Le corps des Hippocampes est constitué par treize anneaux à sept pans et à sept angles. Chacun de ces anneaux est composé : 1° du corps d'une vertèbre dorsale munie de trois apophyses, une épineuse, dont l'extrémité se soude au milieu du pan supérieur, et de deux transverses dont les bouts inférieurs s'insèrent chacun au centre de la face interne d'un des deux plus grands *ostéodermites* de l'anneau ; 2° de sept pièces osseuses ou *ostéodermites*, présentant chacun un tubercule pyramidal saillant en dehors à l'un des angles de l'anneau. La base de ce tubercule se divise en quatre appendices s'écartant les uns des autres à angle droit ; de sorte que l'on compte dans chaque anneau vingt-huit divisions appendiculaires. Quatorze de ces appendices se prolongent suivant le plan de l'anneau, s'unissent deux à deux par leurs bouts, et forment ainsi les sept pans de l'anneau, et les quatorze autres appendices se dirigent sept en avant et sept en arrière, et vont s'articuler avec autant d'appendices provenant des deux anneaux les plus voisins.

La queue des Hippocampes, qu'on ne retrouve dans aucun autre genre de Vertébrés de la cinquième classe, est formée de trente-sept anneaux à quatre pans lisses et à quatre angles épineux. Ces anneaux ont une composition anatomique dont l'importance a été méconnue.

Chaque anneau se compose : 1° du corps d'une vertèbre qui en est le centre, et dont les quatre apophyses (deux transverses, une épineuse et l'autre inférieure) vont se souder chacune au milieu d'un des pans de l'anneau ; 2° de quatre pièces osseuses ou *ostéodermites*, offrant chacune un tubercule pyramidal saillant en dehors à l'un des angles de l'anneau, tubercule dont la base se prolonge en quatre appendices simulant une croix. Huit de ces appendices s'unissent deux à deux par leurs extrémités au point où vient se souder une des apophyses vertébrales, constituent les quatre pans de l'anneau, et les huit autres appendices, se dirigeant quatre en avant et quatre autres en arrière, relient l'anneau dont ils sont les ostéodermites constitutifs avec l'anneau qui le précède et celui qui le suit dans la tige caudale.

anneaux ou interannulaires du corps, muscles en général petits et dont les principaux sont interannulaires du corps, tenant lieu de la couche interne des *grands muscles latéraux,* et que je nommerai pseudo-intercostaux. Tous ces muscles, du reste, sont composés de *faisceaux primitifs rayés en travers*, et les nerfs qui se distribuent dans leur tissu procèdent, sans intermédiaire, du grand centre cérébro-spinal.

Les muscles de la tête et les autres petits muscles du reste du corps n'offrent aucun intérêt relatif au sujet du présent mémoire, et il serait donc superflu d'en faire ici plus ample mention.

Parmi les muscles dont j'ai fait connaître les noms, il y en a quelques-uns qui ont des points de contact avec les parois de la vessie pneumatique, et sur lesquels il sera donné quelques notions quand je décrirai ce réservoir à gaz. Il importe d'énoncer tout d'abord que j'ai examiné ces muscles avec le plus grand soin, et que j'ai constaté qu'ils ne se distinguent des autres muscles analogues de la cavité ventrale par nul arrangement spécial, ni même par quelque légère modification anatomique qui leur soit particulière, en un mot par aucune différence appréciable.

La vessie pneumatique est située dans la partie du corps qui est formée par les quatrième, cinquième, sixième, septième et huitième anneaux. La longueur de cette vessie égale environ la sixième partie de la longueur totale du Poisson; mais sa largeur diffère peu de celle du corps, et l'on peut admettre que son volume est, chez les Hippocampes, d'une grandeur moyenne proportionnellement aux dimensions ordinaires des vessies aériennes des autres Poissons. Sa cavité ne s'ouvre pas dans celle du tube digestif, et l'on ne voit à son intérieur aucune cloison, aucune trace de diaphragme. Elle est ovoïde; les deux membranes qui la constituent, et dont l'une est fibreuse et l'autre muqueuse, sont toutes deux très-minces; aussi sont-elles transparentes en grande partie du moins. Enfin elle n'a aucun muscle intrinsèque ou extrinsèque.

Elle est attachée à la voûte de la cavité du ventre sur un assez

étroit espace longitudinal s'étendant, sur la ligne médiane, de la troisième à la neuvième vertèbre dorsale exclusivement. Au milieu de cet espace, elle est fixée aux reins, et c'est à peine si ses attaches plus latérales la mettent en rapport, sur deux minces rebords, avec les muscles vertébraux. Toutefois une portion de ses parties latérales, que la pesanteur spécifique tend à maintenir au-dessus des autres viscères abdominaux, doivent constamment être appliquées : contre les parties latérales seulement des couches inférieures des muscles intervertébraux qui sont contenus entre les apophyses transverses des vertèbres dorsales, contre une portion des muscles longo-latéraux et contre les pseudo-intercostaux des anneaux qui l'entourent.

C'est donc en définitive une vésicule aérienne des plus simples que l'on puisse rencontrer, et la position qu'elle occupe est celle du plus grand nombre des réservoirs à gaz qu'on trouve dans les Poissons nullement bruyants; je pourrais même citer, chez beaucoup d'autres animaux de la même classe aussi silencieux que les premiers, des vessies pneumatiques incomparablement mieux disposées que celles des Hippocampes pour recueillir des vibrations sonores.

En dernière analyse, l'anatomie ne nous montre aucun muscle particulier ou commun à d'autres fonctions, mais modifié de façon à attirer l'attention; aucune disposition spéciale de la vessie qui puisse faire soupçonner que ces muscles soient destinés à engendrer des vibrations sonores, et cette vessie à recevoir et à renforcer ces vibrations.

Considérations physiologiques. — J'ai découvert que les Chevaux marins à museau court ont la faculté de produire de longues séries de mouvements si petits et si rapides, qu'ils échappent à la vue, ne sont appréciables qu'au toucher, et conséquemment sont de simples frémissements; de plus, je suis parvenu à trouver que ces frémissements sont accompagnés de bruits, plus rarement de sons commensurables.

Ces frémissements, toujours partiels, ne se manifestent que dans certaines parties du corps. Tantôt ils sont bornés à la partie

postérieure des opercules et aux deux premiers anneaux du corps : c'est celui que je désignerai sous le nom de *petit frémissement;* tantôt ils ont lieu dans les anneaux rétrécis de cette partie antérieure du corps qu'on a comparée à l'encolure d'un cheval : ce sera pour moi le *frémissement moyen;* tantôt enfin ils s'étendent à tous les anneaux compris entre les os préoperculaires et le onzième ou le douzième anneau de la queue : c'est celui que j'appellerai le *grand frémissement.*

Les frémissements et les effets acoustiques de ces petits mouvements sont tout à fait semblables chez les mâles et les femelles adultes de cette espèce de Poisson.

On en prend qui sont en état de frayer depuis les premiers jours du printemps jusqu'à la fin du mois de juin. Pendant ce temps, leurs frémissements sont plus fréquents et plus intenses. Comme ces Lophobranches peuvent vivre durant plusieurs jours dans un grand vase contenant de l'eau de mer qu'on renouvelle de temps en temps, et, dans ces circonstances, conserver intactes toutes leurs facultés physiologiques ; comme ils peuvent aussi être tenus hors de l'eau pendant quelques instants sans paraître souffrir de ce changement de milieu et sans cesser d'exécuter des frémissements prolongés, il est facile d'étudier ces longues séries de petits mouvements que ces animaux répètent spontanément et assez souvent pour que l'observateur n'ait pas besoin d'en provoquer la manifestation.

Il est du reste si aisé de s'assurer de l'existence de ces frémissements et de leur répartition, que je ne dirai rien des moyens à employer pour arriver à ce but.

L'examen expérimental des propriétés de la nature de ces frémissements demande plus de soins et de précautions particulières. Aussi, pour en obtenir des résultats dont on puisse tirer des conséquences incontestables, dois-je conseiller d'avoir recours à l'emploi de deux stéthoscopes : d'un stéthoscope simple de Laennec, par exemple, et d'un stéthoscope de la forme de celui que M. le professeur Piorry a préconisé, toutefois après qu'on aura modifié ce dernier instrument ainsi qu'il suit : On recouvrira l'ouverture évasée du pavillon d'un pareil stéthoscope

avec un morceau de baudruche tendu comme la peau d'un tambour sur les bords de ce pavillon, et, sans avoir rien changé aux conditions conductrices du tube de cet instrument, on aura transformé la cavité inférieure en un appareil de renforcement assez sensible pour servir à l'examen, auquel on pourra alors procéder comme je vais l'indiquer le plus sommairement possible.

Après avoir tiré de l'eau un Hippocampe à museau court, bien vivant et bien vigoureux, on comprimera légèrement entre ses doigts et successivement les anneaux du corps du Poisson qui seront le siége du *petit frémissement,* puis ceux qui seront agités par le *frémissement moyen*, et enfin ceux qu'ébranlera le *grand frémissement*, et l'on reconnaîtra que toutes les parties organiques animées par ces petits mouvements inapercevables donnent toutes au toucher la même sensation, celle qu'on éprouve quand on met la pulpe des doigts en contact avec une des branches d'un diapason métallique qui vibre. On s'assurera de la même manière que l'intensité de ces trois frémissements est loin d'être la même : que le *grand frémissement* a considérablement plus de force que le *petit* et beaucoup plus encore que le *moyen.*

Ensuite on auscultera à l'aide du stéthoscope de Laennec les anneaux qui seront agités par le *grand frémissement;* on percevra alors soit une série de petits bruits très-courts dont l'ensemble aura quelque analogie avec le bruit d'un tambour, soit quelques sons commensurables, mais faibles, d'un timbre désagréable et presque tous du même ton (le fa_3 ou le mi_3). En se servant du même instrument, on soumettra à l'auscultation les anneaux mus, soit par le *frémissemeut moyen*, soit par le *petit frémissement*, et l'on se convaincra que dans ces conditions ces frémissements ne font entendre aucun son ni même aucun bruit.

Ce sera le moment d'employer le stéthoscope garni de baudruche. Quand on aura placé l'oreille comme elle doit l'être pendant l'auscultation, on appliquera le centre de la baudruche sur les anneaux en mouvement, en la maintenant de façon à éviter tout frottement, et l'on constatera : 1° que les anneaux

animés par le *petit frémissement* produisent une série de petits bruissements dont chacun est si léger et de si courte durée, que s'il était émis seul, il pourrait échapper à l'attention, mais que la série de ces bruissements est bien appréciable et ressemble au bruit de rotation de Laennec, lorsque ce bruit provient de la contraction d'un petit muscle chez l'homme; 2° que les anneaux mis en branle par le *moyen frémissement* engendrent une série de petits bruits très-courts ressemblant à ceux que je viens de décrire, mais bien plus forts, qui imitent le bruit d'un sourd roulement de tambour ou celui d'une voiture roulant rapidement sur une chaussée pavée et lointaine, bruit qui n'est en réalité qu'une modification du bruit dépeint par l'illustre auteur du premier traité sur l'auscultation médiate.

Enfin, on choisira un sujet bien vigoureux, et, saisissant le moment où il exécutera le *grand frémissement* accompagné de sons commensurables, on extraira à l'aide d'un trocart les gaz contenus dans la vessie pneumatique; tout aussitôt que cette vessie sera vide, on observera que non-seulement les sons musicaux ne se reproduisent plus, mais encore que les bruits qui se mêlaient à ces sons ne seront plus perceptibles au moyen d'un stéthoscope ordinaire, et qu'il faudra se servir du stéthoscope garni de baudruche pour reconnaître que quelques bruits fort analogues à ceux qui résultent ou du *petit* ou du *moyen frémissement* persistent à se faire entendre, et qu'en dernier résultat le *grand frémissement*, en l'absence des gaz vésicaux, ne peut donner naissance qu'à des bruits qui ne diffèrent que par leur intensité de ceux produits par les deux autres frémissements.

Les principaux résultats de cet examen expérimental ressortent avec une telle évidence du simple énoncé des faits, qu'il me semble inutile de discuter la plupart d'entre eux pour en déduire les conséquences suivantes :

1° Les frémissements des Hippocampes à museau court et les frémissements des muscles mêmes des Lyres, des Malarmats, Maigres, etc., ci-dessus observés, donnent au toucher une sensation de tout point semblable; de plus, tous ces petits mouve-

ments produisent tous des phénomènes acoustiques analogues: ils ont donc tous pour principe la vibration musculaire.

2° Le *grand frémissement* fait entendre des bruits plus forts que ceux qu'engendrent les deux autres frémissements, et, en outre, a seul la faculté de donner naissance à des sons commensurables, parce que d'abord presque tous les muscles du corps et les plus puissants d'entre eux concourent à sa formation, et parce qu'ensuite, parmi ces mêmes muscles, se trouvent ceux qui, étant en contact avec les parois de la vessie pneumatique, communiquent directement les vibrations sonores qu'ils produisent à la vessie qui les renforce.

3° L'identité des frémissements des Hippocampes avec ceux des muscles mis à découvert chez les Lyres, Malarmats, etc., dans mes démonstrations expérimentales, prouvent que ces derniers sont purement physiologiques et n'ont aucun rapport avec des mouvements qui seraient dus à des courants dérivés, à une action réflexe, et ne dépendent par conséquent nullement des mutilations que j'ai fait subir aux sujets de mes vivisections.

Cette conséquence, qui résultait déjà de plusieurs faits et expériences exposés dans ce mémoire, ne peut être mise en doute, en présence des frémissements qui se montrent normalement chez des Hippocampes pleins de vie et de force, et dont l'épiderme n'a même pas été entamé par l'instrument tranchant.

Quoique les phénomènes acoustiques que produisent les Hippocampes n'aient pas l'intensité nécessaire à se propager naturellement dans l'atmosphère, de façon à être perçus par l'oreille humaine, le mécanisme de leur formation n'en est pas moins intéressant, parce qu'il est plus propre qu'aucun de ceux que nous avons examinés jusqu'ici à mettre en évidence la part que chaque organe prend à la production des vibrations sonores de notre première subdivision de la seconde section.

Les agents de ce mécanisme sont une vessie pneumatique réduite à l'état de la plus simple vésicule hydrostatique, comme il est bon de le rappeler, et des muscles très-nombreux, dont je n'ai besoin que de désigner les principaux: ce sont, dans tous les

anneaux du corps proprement dit et dans les onze premiers anneaux de la queue, tous les muscles vertébraux que j'ai nommés, au commencement de ce chapitre, les *pseudo-intercostaux*, et les muscles interannulaires de la queue. Tous ces muscles, et plusieurs autres moins forts, sont les très-nombreux agents actifs de la production des vibrations sonores. C'est le lieu de faire remarquer que les éléments histologiques de tous ces muscles, leurs fonctions principales, qui sont évidemment celles de mouvoir une grande partie des os du squelette, l'origine tout aussi évidente des nerfs qui les animent, nerfs qui proviennent tous directement du centre cérébro-spinal, enfin le mode même de leur contraction, tout concourt à prouver jusqu'à la dernière évidence que ce sont des muscles soumis à la volonté de l'animal.

Ce grand nombre de muscles dominent tellement tout le mécanisme de la production des sons, que, sans auxiliaire, sans organe de renforcement, ils peuvent à eux seuls engendrer des sons qui se propagent dans le milieu ambiant, comme le prouvent les effets acoustiques du *petit* et surtout du *moyen frémissement*. Je dois faire observer que c'est la première fois que nous trouvons, chez les Poissons, l'appareil des organes producteurs de sons réduit à quelques simples muscles volontaires capables de vibrer.

C'est principalement dans l'exécution du *grand frémissement*, où les très-nombreux muscles qui participent à sa formation entrent en action simultanément, qu'on voit bien l'effet de leur prédominance dans le mécanisme de la production des sons.

La plupart d'entre eux sont plus ou moins éloignés des parois de la vessie, et, dans l'ébranlement simultané de la plus grande portion du corps de l'animal, chacun d'eux fournit son contingent de mouvements vibratoires qui, à l'aide de vibrations concomitantes, doivent se propager jusqu'au réservoir à gaz, dont le rôle est ici bien moins important que celui que remplissent les autres vessies dans plusieurs mécanismes du même ordre. En effet, chez les Hippocampes, tandis que la vessie recueille les vibrations sonores que lui transmettent directement les muscles

qui sont contigus à ces parois, elle est assaillie en avant, en arrière, par les ondes sonores qui proviennent des muscles plus éloignés. Il n'est pas difficile de prévoir que ces deux sortes de vibrations sont une fâcheuse complication ; car, d'une part, la seule circonstance dans laquelle ces vibrations émanées de foyers différents peuvent se corroborer mutuellement, demande le concours de conditions multiples, mais encore elle exige que leur coïncidence s'effectue avec une précision mathématique, et, d'autre part, le moindre désaccord entre ces deux ordres de mouvements vibratoires peut contrarier ou annihiler le jeu de l'appareil de renforcement.

Des données expérimentales, qu'il serait trop long d'exposer ici, me portent à penser que c'est le désaccord de ces différentes vibrations qui est la principale cause du peu d'action de la vessie dans la production des phénomènes acoustiques propres aux Hippocampes.

En comparant le mécanisme dont je m'occupe actuellement avec ceux des quatre espèces de Poissons étudiées dans le précédent et le présent chapitre, il est facile de conclure :

1° Que la position relative des muscles producteurs de sons et de la vessie pneumatique influe bien plus sur les bonnes qualités des sons que le grand nombre de ces muscles.

2° Que les muscles qui produisent les vibrations sonores chez les Hippocampes sont soumis à la volonté, et que conséquemment chez eux, comme chez les quatre autres espèces de Poissons dont il est question dans ce chapitre, les bruits et les sons sont aussi volontaires.

3° Que les Hippocampes nous offrent un exemple, jusqu'à présent unique, d'un appareil producteur de sons réduit chez un Vertébré à quelques petits muscles volontaires capables de vibrer.

4° Que dans les cas où les organes qui donnent naissance aux phénomènes acoustiques chez les Hippocampes atteignent le maximum de leur puissance productive, c'est à peine si, à l'aide d'un stéthoscope, l'homme peut distinguer, au milieu des bruits qu'ils font entendre, quelques sons commensurables.

5° Que le mécanisme des bruits et des sons engendrés par les individus de l'espèce *Hippocampus brevirostris* est inférieur sous tous les rapports à celui que nous avons examiné dans chacune des quatre espèces de Poissons comprises dans la même catégorie ; que par conséquent l'organisme de ces Chevaux marins offre un degré tout aussi inférieur d'adaptation aux fonctions de la production des sons ; qu'enfin c'est bien à bon droit que cette espèce occupe le dernier rang dans le tableau de la page 2 du deuxième chapitre.

TROISIÈME PARTIE.

§ 1.

Deuxième subdivision de la division principale de la seconde section.

Cette subdivision se compose des sons produits par un appareil spécial que j'ai nommé *appareil vésico-pneumatique*.

Cet appareil est constitué par une vessie pneumatique du nombre de celles dont la cavité ne s'ouvre pas dans le tube intestinal, et par au moins deux muscles intrinsèques toujours composés de faisceaux primitifs de fibres striées transversalement et remarquables par leur mode d'innervation, ainsi que par la grande quantité de vaisseaux sanguins qui en font partie.

L'union de cette vessie avec ses muscles est si intime, et les rapports anatomiques de ce groupe d'organes avec le reste du corps sont tellement distincts, que cet ensemble organique mérite réellement le nom d'appareil.

Les sons de cette subdivision se distinguent de ceux de la division principale :

1° Par le nombre des sons commensurables qui, chez chaque individu, l'emporte beaucoup sur la quantité de ceux qui ne sont pas musicaux ; 2° par le plus grand degré de pureté ; 3° par leur plus longue tenue ; 4° par les plus nombreuses variétés de leurs tons ; 5° enfin par une plus grande mutabilité de leur timbre.

Dix espèces appartenant à trois genres différents de Poissons européens émettent des sons de cet ordre. Ce sont : dans le

genre Dorée ou *Zeus*, Cuvier, les espèces : Dorée ou Poisson Saint-Pierre (*Zeus faber*, Linné, Cuvier et Valenciennes), *Zeus pungio*, Cuv. et Val.; dans le genre Dactyloptère (*Dactylopterus*, Cuv.), l'espèce Dactyloptère voltigeant (*Dactylopterus volitans*, Cuv.); dans le genre Trigle (*Trigla*, Cuv.), les espèces : Perlon (*Trigla Hirundo*, L.), Rouget camard (*Trigla lucerna*, L.), Rouget commun (*Trigla Cuculus*, L.), Grondin proprement dit (*Trigla Gurnardus*, Lin.), Morrude, Cuv. (*Trigla lucerna*, Brunn.), Grondin rouge (*Trigla Cuculus*, Bloch), Cavillone, Cuv. (*Trigla aspera*, Viv.).

Les caractères que je viens de faire connaître comme étant communs à tous les appareils vésico-pneumatiques n'impliquent nullement qu'ils sont semblables les uns aux autres. En effet, leur forme, leurs dimensions et plusieurs autres de leurs qualités, diffèrent suivant les espèces et suivant les genres.

Ces différences génériques sont assez grandes pour qu'il devienne nécessaire de donner une description détaillée de l'appareil de chacun de ces trois genres.

Quand les organes de l'audition du genre dont l'appareil aura été décrit offrira des particularités notables, j'en ferai l'objet de remarques que je joindrai à la description.

§ 2.

Du genre *Zeus*, et de l'appareil vésico-pneumatique chez les Poissons de ce genre.

Le genre *Zeus* comprend, d'après le *Règne animal* de Cuvier, un sous-genre, celui des Dorées (*Zeus*), et ce sous-genre contient deux espèces : l'une, la Dorée ou Poisson Saint-Pierre, que l'auteur désigne, comme l'avait fait Linné, sous la dénomination de *Zeus faber ;* l'autre dont il ne donne que le nom latin, *Zeus pungio*.

Dans l'*Histoire naturelle des Poissons*, Cuvier et Valenciennes ont décrit cette dernière espèce et ont persisté à la considérer comme une espèce distincte (1).

(1) Voy. Cuvier et Valenciennes, *Histoire naturelle des Poissons*, t. X, p. 26.

J'ai examiné beaucoup d'individus dont les uns avaient les caractères externes donnés par ces auteurs comme distinctifs de l'une de ces espèces, et d'autres Poissons présentant exactement la diagnose proposée par ces naturalistes comme déterminative de l'autre espèce, et j'ai constaté que les uns et les autres ont à l'intérieur une organisation tout à fait semblable (1).

Dans les considérations qui vont suivre, je prendrai pour type l'espèce *Zeus faber*. Mais je déclare que toutes les propositions relatives à cette espèce seront également applicables à sa congénère.

Considérations zoologiques et anatomiques. — Les Dorées ont le corps d'une forme ovale d'un aspect bizarre, qui les a fait remarquer depuis bien des siècles par les habitants des bords de la Méditerranée. C'est sans doute à raison de la singularité de leur aspect et des sons qu'ils émettent, qu'elles ont été chez les anciens Grecs, et sont encore chez les modernes et dans certaines parties de l'Italie, l'objet de croyances superstitieuses.

A Marseille, on pêche en toute saison un assez grand nombre de ces Poissons, et il s'en trouve quelques-uns qui pèsent jusqu'à 5 kilogrammes. Je ne connais pas d'Acanthoptérygiens dont la vessie pneumatique soit plus sujette aux lésions traumatiques que celle de ces Dorées.

Je ne sais s'il en est ainsi de beaucoup d'autres organes de ces Poissons, mais toujours est-il que leurs centres nerveux sont aussi d'une constitution bien délicate; car le bout du museau de ces animaux ne peut recevoir le moindre choc sans que des symptômes non équivoques de commotion de ces centres nerveux se manifestent et durent plus ou moins longtemps.

Dans les eaux qui baignent le littoral du département des Bouches-du-Rhône, on prend des Dorées, qui sont en frai, depuis le 15 juillet environ jusqu'à la fin du mois d'octobre.

(1) J'ai disséqué avec soin une soixantaine de ces Poissons et en ai examiné plus de deux cents; j'ai trouvé un si grand nombre de variétés dans la forme de toutes les épines scapulaires, humérales, latérales de la seconde dorsale, etc., qu'il me semble difficile de trouver exclusivement dans ces appendices des caractères complétement satisfaisants pour la distinction des espèces.

Comme tant d'autres vessies pneumatiques, celle des Dorées a été jusqu'à présent l'objet d'une simple mention plutôt que d'une description consciencieuse, et pourtant sa composition anatomique offre, comme on le verra bientôt, des particularités dignes de l'intérêt des ichthyologistes et des physiologistes.

Toutefois l'appareil vésico-pneumatique de ces Poissons ayant complétement la forme des vessies aérifères ordinaires, j'emploierai, pour les désigner, aussi souvent le mot de vessie que celui d'appareil.

Arrondie à ses deux bouts, cette vessie pneumatique est irrégulièrement ovoïde dans ses trois quarts antérieurs ; un peu déprimée en avant, elle se rétrécit brusquement dans son quart postérieur, sous forme de cylindre non moins irrégulier (1). Sa plus grande largeur est égale au tiers de sa longueur, et cette longueur est égale aux deux septièmes de la longueur totale du corps de l'animal. La partie antérieure ou ovoïde de cette vessie diffère aussi de la partie postérieure ou cylindrique par la composition de ses parois.

La portion antérieure ou ovoïde est constituée par deux membranes : l'une externe, l'autre interne, et par une paire de muscles intrinsèques.

La membrane externe, ou tunique propre, est fibreuse, épaisse, compacte, composée à l'extérieur d'épais feuillets de tissu conjonctif mêlé à du tissu élastique, à des lamelles *péritonéales* et à d'autres éléments fibreux, et en dedans, de plusieurs couches de gros faisceaux, dont les plus externes sont dirigés transversalement au grand axe de la vessie aérifère (2).

Cette membrane propre donne, par sa consistance, à la portion antérieure de ce réservoir pneumatique, la forme que je lui ai attribuée. En avant et latéralement, cette membrane fibreuse présente deux grandes entailles ovalaires qui semblent la perforer d'outre en outre, mais qui réellement en réduisent tellement l'épaisseur, qu'elle n'a plus à sa partie interne que l'aspect

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 1, 2.
(2) T. XIX, pl. 16, fig. 3, *v*, *c*, *o*, *v'*.

d'une très-mince lamelle de tissu conjonctif. Chacune de ces entailles, dont le grand diamètre est longitudinal, encadre l'un des muscles intrinsèques. Je décrirai plus loin ces deux muscles. Arrivée au bout postérieur de la portion ovoïde, là où la vessie se rétrécit brusquement, la membrane propre perd tout à coup toutes ses couches internes de faisceaux fibreux, et ses seuls feuillets externes s'étendent au delà du rétrécissement circulaire; mais elles font alors partie de la portion cylindrique, comme il sera dit plus loin.

Toutefois le bord circulaire des couches internes de cette fibreuse ainsi interrompue ne font qu'une légère saillie à l'intérieur du rétrécissement circulaire de la vessie.

La seconde tunique ou membrane de la portion ovoïde de la vessie, est muqueuse, épaisse et pourvue de nombreux vaisseaux (1). Elle comprend dans son épaisseur deux ou trois corps rouges, formant, de chaque côté de la paroi inférieure des parois vésicales, un cordon courbé sur lui-même en différents sens et interrompu en un ou deux endroits de son trajet (2).

Cette membrane muqueuse revêt tout l'intérieur de la tunique fibreuse; mais, parvenue au rétrécissement circulaire dont j'ai parlé tant de fois, elle aussi se termine brusquement par un rebord circulaire qui, restant libre de toute adhérence à son bout postérieur et par sa face interne, et conservant toute l'épaisseur de la membrane muqueuse, fait une notable saillie en dedans de la vessie. Ce rebord saillant est inégal et onduleux. On peut remarquer que les gros vaisseaux qui parcourent longitudinalement la muqueuse se terminent brusquement aussi dans ce rebord. J'ai vu même maintes fois tous les gros vaisseaux longitudinaux d'une pareille muqueuse se prolonger en sorte de courts cæcums au delà de son rebord saillant et terminal (3).

Les parois de la portion cylindrique ou postérieure de la vessie sont aussi formées de deux membranes. L'une, l'externe, qui n'est que la continuation des feuillets externes de la membrane

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 3, *m*, *m*, *m*, *m'*, *m''*.
(2) T. XIX, pl. 16, fig. 3, *k*, *h*, *i*, *j*, *k'*.
(3) T. XIX, pl. 16, fig. 3, B, *n*, *n*, *m*, *s*.

fibreuse de la portion ovoïde; elle manque de fortes couches internes, de gros faisceaux fibreux, et est modifiée dans sa texture (1).

Cette membrane a une épaisseur assez prononcée et jouit d'une très-grande élasticité, ainsi que d'une rétractilité remar-q u ale

L'autre membrane, l'interne, est plus mince que l'arachnoïde humaine. Soudée au pourtour externe du bord saillant et terminal de la muqueuse de la portion ovoïde, cette membrane arachnoïdienne double toute la surface de la membrane interne de la portion cylindrique, ne tient à cette enveloppe que par des fibrilles aussi minces que des fils d'araignée, qui sont irrégulièrement distribuées entre les deux membranes, et par un assez grand nombre d'autres fibrilles de même nature, rapprochées les unes des autres et assez souvent disposées suivant une ligne circulaire, qui attachent le fond de cette arachnoïdienne d'une manière moins fragile au bout de la cavité de la membrane externe (2).

Les muscles intrinsèques de la vessie pneumatique ont chacun à peu près la forme d'un disque ovalaire : leur grand diamètre égale environ la [illegible] de la longueur de la vessie, et leur petit diamètre mesure la moitié du diamètre transversal de ce réservoir à gaz. Leur épaisseur est en moyenne les 1/100 de leur grand diamètre (3).

Enchâssés dans les entailles latérales de la membrane fibreuse, ils s'insèrent par les deux extrémités de leurs faisceaux charnus sur les bords de ces demi-ouvertures, sur l'espace compris entre la surface externe de la fibreuse et sa lamelle interne, ou, en d'autres termes, à la presque totalité de l'épaisseur de la tunique fibreuse. Ils tiennent aussi très-solidement par le reste de leur pourtour aux bords de ces entailles qui ne sont point occupés par les insertions de leurs faisceaux charnus. Enfin, ils sont recouverts sur leur face supérieure par une expansion des apo-

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 3, *p*, *p*, *p*.
(2) T. XIX, pl. 16, fig. 3, *s*, *s*, *s''*, *s'''*.
(3) T. XIX, pl. 16, fig. 1, *m*, *m*, et fig. 2, *m*.

névroses d'attache de la vessie elle-même. Leur surface interne est appliquée sur la lamelle à laquelle est réduite la membrane fibreuse dans ces entailles ovalaires. Mais c'est à peine si leur surface adhère à cette lamelle, qui elle-même ne tient que par de bien faibles attaches à la face externe de la muqueuse.

Ces muscles sont d'une couleur jaune qui passe quelquefois au rougeâtre, et plus fréquemment leur teinte jaune est plus foncée que celle des autres muscles du corps. Ils sont composés de nombreuses couches de faisceaux charnus qui eux-mêmes sont formés d'éléments histologiques énoncés dans les caractères généraux des appareils vésico-pneumatiques (voyez page 38 du présent chapitre).

La direction de tous leurs faisceaux charnus est perpendiculaire à leur grand diamètre, et par conséquent perpendiculaire au grand axe de la vessie.

Si la valeur physiologique d'un organe est en rapport avec le nombre, le volume et la variété d'origine des nerfs qui se rendent à cet organe, les muscles intrinsèques doivent être considérés comme ayant une réelle importance dans l'organisme du *Zeus*. Ces muscles, en effet, reçoivent chacun trois gros nerfs qui sont des branches principales des seconde, troisième et quatrième paires spinales (1). La branche qui provient de la seconde paire se porte dans le tiers antérieur du muscle, la branche de la troisième dans la partie moyenne, et la branche de la quatrième dans son tiers postérieur. En pénétrant entre les faisceaux charnus, les branches nerveuses s'épanouissent, se divisent en rameaux plats qui conservent encore une largeur notable quand ils s'introduisent dans les enveloppes des faisceaux pri-

(1) En suivant la nomenclature des nerfs donnée par Cuvier, j'appelle chez le *Zeus*, première paire spinale, celle dont les deux troncs nerveux qui la composent proviennent chacun de deux ou trois petites racines qui sortent de la moelle épinière très-près de son origine, ou même souvent des points intermédiaires à cette même moelle et à la moelle allongée, et qui s'unissent immédiatement au dernier nerf cérébral, pour sortir avec lui par un même trou des parois osseuses de la colonne vertébrale. La seconde paire est donc, pour moi, celle qui naît à quelque distance en arrière des petites racines dont je viens de parler.

mitifs de fibres musculaires, dans l'intérieur desquels je ne les ai pas suivis.

La vessie pneumatique du *Zeus* s'étend dans la cavité abdominale de ce Poisson depuis les insertions postérieures des muscles rétracteurs des os pharyngiens supérieurs jusqu'au premier os interépineux de la nageoire anale, en suivant la courbure de la cavité du ventre ou de la colonne vertébrale. Cette vessie est solidement attachée en avant aux parois abdominales par quatre fortes aponévroses, dont deux sont situées au-dessus et deux autres au-dessous des muscles vésicaux (1); de plus, sa face supérieure adhère par sa partie médiane et longitudinale aux enveloppes aponévrotiques des reins, puis enfin, par ces bords, aux aponévroses de la couche profonde des muscles grands latéraux, ainsi qu'aux côtes qui séparent ces muscles (2).

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 2, *r*, *r*.

(2) Je crois utile de faire connaître les difficultés exceptionnelles que j'ai rencontrées dans mes investigations anatomiques sur l'appareil vésico-pneumatique de ces Poissons.

Bien que, dans le cours de mes recherches, j'aie observé plus de deux cents Dorées, je n'ai pu soumettre à mon examen anatomique que soixante sujets de cette espèce. Sur ces soixante sujets, quarante étaient adultes et les vingt autres étaient des jeunes, dont les moins âgés n'avaient que 70 millimètres de longueur. Parmi les petits, aucun n'avait, ni en dehors ni en dedans du corps, de sac vitellin, ou même ne portait aucune trace de l'existence de cet organe embryonnaire. De ces soixante sujets, douze seulement avaient une vessie pneumatique dans des conditions anatomiques identiques avec celles que je viens de décrire; aucune des parties organiques de ces appareils ou des organes adjacents de ces individus ne présentait de modifications morbides récentes ou anciennes, et, avant la mort de ces Poissons, je m'étais assuré qu'ils avaient conservé intactes les fonctions acoustiques de leur appareil vésico-pneumatique. Chez les quarante-huit autres Dorées, les vessies pneumatiques offraient des lésions traumatiques nouvelles ou anciennes, telles que trous, déchirures, décollements des parties ou adhérences anormales, et dans plusieurs de ces sujets les organes voisins des appareils portaient des marques évidentes d'affections traumatiques. Tels sont les principaux résultats des investigations patientes, laborieuses, et bien faites pour décourager l'observateur trop pressé d'arriver à son but, qui m'ont conduit à décrire les dispositions anatomiques de l'appareil vésico-pneumatique des Dorées, comme on l'a vu plus haut.

On peut se demander si ces dispositions sont normales? Comme je n'ai pu me procurer un poisson de ce sous-genre à l'état d'embryon, je ne puis répondre péremptoirement à cette question; mais les résultats de mes nombreuses investigations m'autorisent, je le pense, à avancer qu'il est de la plus grande probabilité qu'à certaine phase du développement génésique, la vessie pneumatique est analogue à celle de la plupart des Poissons; qu'elle se compose d'une poche formée d'une tunique fibreuse, garnie à l'ex-

J'ai examiné avec soin les organes auditifs des Dorées. Les deux oreilles sont écartées l'une de l'autre et retenues chacune sur un des côtés du cerveau par un tissu résistant, plus fibreux que celluleux et d'une couleur jaunâtre. Des cavités du labyrinthe ostéo-cartilagineux, celle qui reçoit le sinus transversal a seule des dimensions qui sont relativement plus grandes que celles des cavités analogues dans les oreilles des autres Acanthoptérygiens. Une simple dépression, au niveau presque du plancher de la cavité du crâne, est réservée au sac, et une simple gouttière reçoit le tube semi-circulaire antérieur, qui n'y est *enchaîné* (1) que par un mince anneau cartilagineux. Le tissu du vestibule tout entier (tubes semi-circulaires, ampoules, utricules, sac et cystocule) est d'une couleur rougeâtre. Pour donner une idée de la forme de l'*otolithe sacculaire*, je dirai que sa partie centrale la plus épaisse ressemble à une valve d'une très-petite coquille de Mollusque cardiacé à laquelle sont soudées par leur partie moyenne deux espèces de baguettes calcaires, dont la grosseur est inégale dans divers points de leur étendue.

érieur d'une ou de plusieurs couches de tissu conjonctif, et à l'intérieur d'une tunique muqueuse, toutes tuniques n'offrant aucune solution de continuité et présentant une cavité simple, sans étranglement ou rétrécissement; que, par suite des secousses et des tiraillements que les premières contractions musculaires font éprouver à la vessie, les tuniques fibreuse et muqueuse sont détachées du fond de l'enveloppe du tissu conjonctif; que les tiraillements uniformes en avant rendent circulaire l'ouverture qui résulte de cette déchirure, ouverture qui n'est plus recouverte que par la mince couche de tissu connectif ayant la même forme; qu'enfin l'impulsion incessante des gaz poussés par les contractions musculaires dilate, détend en une petite ampoule cette paroi circulaire si peu résistante et si élastique, et que cette ampoule agrandie constitue plus tard la partie cylindrique vésicale qu'on trouve déjà chez les sujets qui n'ont pas plus de 6 centimètres de longueur.

Ce n'est assurément là qu'une présomption, mais elle explique si bien, dans les plus intimes détails, toutes les particularités de la structure toute spéciale des parois de la vessie dans ce sous-genre de Poissons, et les si nombreuses lésions auxquelles elle est sujette, qu'elle doit s'écarter bien peu de ce cas de développement récurrent ou des faits de pseudo-physiologie ou de transformations morbides qui s'accomplissent très-lentement dans cet appareil, et par cela même cette présomption mérite d'être prise en considération.

(1) Je dois déclarer que j'ai adopté la nomenclature introduite dans la science par Bréchet pour désigner les diverses parties organiques des organes auditifs. (Voy. *Ann. sc. nat.*, 1re série, t. XXIX, mémoire de Bréchet sur l'*oreille humaine*.)

La largeur des ampoules, des tubes semi-circulaires ou plutôt du vestibule tout entier, la forme bizarre de cet otolithe, la grosseur des rameaux nerveux qui se rendent aux diverses parties du vestibule, sont les particularités les plus notables des appareils auditifs de ces Poissons.

§ 3.

De l'appareil vésico-pneumatique du Dactyloptère.

L'appareil vésico-pneumatique du Dactyloptère voltigeant (*Dactylopterus volitans*) (1) est profondément divisé sur la ligne médiane en deux parties ou lobes. Ces lobes ne sont réunis sur la ligne médiane, vers leur tiers postérieur, que par les parois d'un *canal de communication* au moyen duquel les cavités de ces deux lobes sont en rapport de continuité (2). Ces parois ne mesurent que le quart de la longueur de tout l'appareil. La plus grande largeur de cet appareil n'a qu'un septième de moins que sa longueur, et celle-ci est contenue en moyenne six fois dans la longueur totale du Poisson.

Chaque lobe a la forme d'un cylindre un peu bombé en son milieu, arrondi à ses deux bouts, dont l'antérieur est souvent contourné de dehors en dedans en une sorte de demi-crosse : chacun des bouts antérieurs se prolonge en avant en un appendice (3) triangulaire qui est reçu dans une fossette osseuse de même forme, creusée dans les os du crâne et recouverte par le pariétal supérieur.

Ces deux lobes et leurs appendices sont composés, comme la plupart des vessies pneumatiques, de deux tuniques ou membranes : l'une externe, fibreuse, épaisse, solide dans les portions qui constituent les lobes, ainsi que le *canal de communication*, et très-mince dans la paroi des appendices; l'autre externe, muqueuse, recouvrant la surface interne de la première, les *corps rouges* qui adhèrent à celle-ci, et l'intérieur du canal de communication. Dans chaque lobe, juste à la hauteur de la paroi

(1) T. XIX, pl. 19, fig. 16.
(2) T. XIX, pl. 19, fig. 16, *f*.
(3) T. XIX, pl. 19, fig. 16, *c*, *c*, et fig. 17, *p*.

postérieure de l'entrée du canal de communication, la muqueuse présente une duplicature falciforme, étendue perpendiculairement au grand axe du lobe; son bord concave est libre et flottant, regarde en dedans, et correspond par conséquent à l'entrée du canal; son bord convexe est tourné en dehors; il adhère par tout son pourtour aux parois du lobe et est continu au reste de la muqueuse (1). Cette duplicature forme ainsi un diaphragme incomplet qui sépare la cavité du lobe en deux portions inégales : l'une, l'antérieure, mesurant environ les trois quarts de la longueur totale, et l'autre, postérieure, n'ayant que le quart de la même longueur. Ce demi-diaphragme ou ce repli falciforme contient, entre les deux lames de la muqueuse qui le constitue, quelques lamelles de tissu connectif peu nombreuses et d'inégale épaisseur; cette duplicature est, à n'en pas douter, l'analogue du diaphragme à ouverture circulaire centrale qu'on trouve dans le corps vésical de l'appareil du Perlon et dans ceux de quelques autres Trigles, comme je le dirai plus loin.

Les organes les plus intéressants de cet appareil sont assurément les muscles, qui sont au nombre de quatre, deux pour chaque lobe : un grand muscle intrinsèque et un muscle extrinsèque.

Le grand muscle intrinsèque est recouvert par une forte aponévrose qui prend naissance en dedans sur une partie de la longueur d'une des saillies latérales du tube osseux qui tient lieu des premières vertèbres, et en dehors sur le pourtour d'une surface ovalaire, dont une moitié fait partie des parois externes du crâne, et l'autre partie de la surface interne du bouclier céphalique.

De ces points d'origine, cette aponévrose s'étend sur une grande partie des surfaces supérieure et latérale, et finit près du bord de la face inférieure du lobe correspondant (2). Ce muscle s'attache par l'extrémité supérieure de toutes ses fibres à la surface interne de cette aponévrose; un grand nombre de ses faisceaux s'avancent sur la surface inférieure du lobe et s'y montrent

(1) T. XIX, pl. 18, fig. 23, *d, d.*
(2) T. XIX, pl. 18, fig. 17, *v, v, v.*

à nu (1). Le bout inférieur des faisceaux charnus de ce muscle s'implante sur la fibreuse vésicale.

Le muscle extrinsèque, qui, je crois, a été jusqu'à présent confondu avec le précédent et dont le volume n'est approximativement que le sixième de celui du grand muscle intrinsèque, s'insère en dehors et en haut à la surface ovalaire dont j'ai parlé ci-dessus, et en bas sur la face latérale et supérieure de la membrane fibreuse lobulaire, sur une surface ovalaire (2) elle-même, au pourtour de laquelle les faisceaux du muscle intrinsèque viennent se fixer.

Les divers faisceaux et toutes les fibres de ces muscles sont dirigés obliquement de haut en bas, de dedans en dehors et d'avant en arrière, ou plus généralement sont disposés transversalement au grand axe du lobe.

L'appareil vésico-pneumatique est placé dans le corps du Dactyloptère bien plus en avant que ne le sont les appareils analogues des Trigles, dont il sera bientôt question. Il s'attache très-solidement aux faces inférieures et latérales du gros tube osseux qui remplace les premières vertèbres ; d'abord, de très-fortes aponévroses fixent ces deux lobes à cet os, et de plus le canal de communication se soude, pour ainsi dire, par toute sa face supérieure à la surface inférieure de ce tube vertébral. Il tient encore fermement aux parois du crâne, et par ces appendices à plusieurs autres os du crâne.

Le haut des lobes adhère plus en arrière à l'aponévrose qui revêt la large surface des reins ; sur les côtés, ces lobes sont en rapport avec quelques parties des grands latéraux (Cuvier), et en bas avec l'œsophage, l'estomac, le foie et une partie des autres viscères.

C'est encore la dernière paire de nerfs cérébraux qui, chez le Dactyloptère voltigeant, se rend aux muscles de l'appareil vésico-pneumatique, comme on verra incessamment que cette disposition existe chez sept espèces de Trigles européens (Cuvier).

(1) T. XIX, pl. 19, fig. 16, *m*, *m*, et pl. 19, fig. 17, *m*.
(2) T. XIX, pl. 19, fig. 17, *n*, *n*.

Chacun de ces nerfs, après un très-court trajet dans la cavité du crâne, s'engage dans un canal osseux qui traverse une partie de la base de cette boîte osseuse, passe sous la paroi interne de la fossette triangulaire qui loge l'appendice du lobe correspondant, et débouche vers le milieu de la longueur de l'angle rentrant inférieur de cette fossette. En sortant de ce canal, ce nerf s'engage sous une des membranes de cet appendice, atteint la base de ce dernier, et s'enfonce dans le muscle, où, dès son entrée, il envoie des filets nerveux aux faisceaux charnus entre lesquels il pénètre; puis il arrive souvent qu'il émet un rameau assez volumineux qui se dirige en dehors et se contourne en avant pour répandre diverses ramifications nerveuses dans le groupe des faisceaux charnus fixés au bouclier céphalique; un peu plus loin encore ce nerf s'étale en forme de patte d'oie, et se divise en beaucoup de ramifications nerveuses qui s'irradient de tous côtés, tandis qu'une d'entre elles, plus grosse que les autres, s'avance jusqu'au bout postérieur du muscle en distribuant des filets nerveux sur tout son trajet.

L'oreille du Dactyloptère voltigeant présente des dispositions toutes spéciales que je n'ai trouvées décrites, ni dans les auteurs français et anglais, ni dans l'ouvrage de Weber (1).

D'abord la paroi du crâne contre laquelle s'appuie latéralement l'oreille, au lieu de présenter, comme chez la plupart des Poissons, une cavité pour recevoir les organes auditifs, forme une bosse bien saillante en bas de laquelle se trouve une légère dépression du plancher du crâne, et deux gouttières se prolongeant, l'une en avant, l'autre en arrière. La dépression loge le sinus médian tout entier, le sac et son cysticule.

Les particularités les plus remarquables de cet appareil auditif sont, d'une part, la longueur vraiment extraordinaire du tube semi-circulaire externe, qui n'a pas moins de trois fois la longueur du tube semi-circulaire postérieur, et, d'autre part, le trajet du premier de ces tubes à travers la paroi externe et supérieure, osseuse et fort épaisse, du crâne de ce Poisson.

(1) Voy. E. H. Weber, *De aure et auditu Hominis et Animalium*. Lipsiæ, 1820, in-4°.

En suivant ce tube depuis son ampoule, qui est grosse comparativement, on le voit décrire en dehors et en avant un long circuit; puis, allant toujours en s'élevant, il atteint à une petite distance de la surface externe du crâne, non loin du petit frontal postérieur, traverse une partie du pariétal, du mastoïdien; redescend ensuite, pénètre dans le canal semi-circulaire postérieur, se place derrière le tube de même nom, le suit dans le long détour que fait le canal homonyme autour de la paroi antérieure de la fossette qui contient l'appendice du lobe vésical correspondant, et, sortant du canal, accompagne le tube semi-circulaire postérieur, non-seulement dans toute l'étendue de la gouttière postérieure, mais jusqu'à l'ampoule postérieure; passe en dehors de celle-ci, et s'insère, comme tous les tubes semi-circulaires externes, sur le sinus transversal médian, entre l'ampoule du tube semi-circulaire postérieur et le point d'où émerge le *tube commun*.

Je me bornerai ici à faire remarquer le très-long et très-singulier trajet du *tube semi-circulaire externe*, qui seul traverse des conduits osseux si minces et si bien en contact avec le bouclier céphalique, que c'est comme si ce tube touchait au bouclier, et que, d'autre part, en compagnie du tube semi-circulaire postérieur, il contourne les parois de la fossette osseuse qui protége l'appendice lobulaire correspondant. En m'occupant du mécanisme des vibrations sonores chez ce Poisson, je n'oublierai point de revenir sur les rapports de continuité que je viens de mentionner, et j'en apprécierai la valeur acoustique.

§ 4.

Considérations anatomiques sur les appareils vésico-pneumatiques du Perlon, du Grondin gris, du Rouget commun, du Rouget camard, du Grondin rouge, de la Morrude et de la Cavillone (1).

Bien que les appareils vésico-pneumatiques des Trigles présentent d'assez notables différences quand on les considère comme des appareils générateurs de sons, ils ont pourtant,

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 4, 5 et 6. — Pl. 19, fig. 18, 19, 20, 21, 22.

sous le rapport anatomique, un si grand nombre de parties analogues ou semblables, qu'il me paraît indispensable, pour éviter de nombreuses redites, d'en choisir un pour type d'une description commune, à laquelle je rattacherai en peu de mots les différences spécifiques que les autres pourraient offrir.

Je donne la préférence à l'appareil du Perlon (*Trigla Hirundo*, Linn.), parce que d'abord il acquiert chez les individus de cette espèce, qui pèsent près de 3 kilogrammes, des dimensions assez grandes pour que l'examen en soit très-facile, et qu'il présente les modifications les plus compliquées qu'on rencontre dans les organes producteurs des sons chez les autres Trigles.

Chez le Perlon d'un âge adulte bien confirmé, chez un vieux Perlon, l'appareil vésico-pneumatique occupe, dans la cavité abdominale, un grand espace qui a cela de particulier, qu'il est presque aussi large que long. La longueur de cet appareil est comprise quatre fois et demie dans la longueur totale du corps du Poisson, et sa largeur n'a que 8 ou 9 millimètres de moins que sa longueur.

Dans cet appareil on distingue trois parties ou trois lobes : un médian, ou corps vésical, et deux lobes latéraux ou appendiculaires (1).

Qu'on se représente un sac membraneux analogue aux vessies pneumatiques ordinaires, sur la moitié supérieure duquel s'insèrent deux muscles, qui sont eux-mêmes recouverts par une forte aponévrose à laquelle ils s'insèrent également, et l'on aura une idée exacte de la position relative des principales parties du corps vésical, position qu'il importe de bien connaître d'abord pour faciliter l'intelligence des détails qui vont suivre.

Le corps vésical, ou lobe médian, est large en avant et a en arrière une forme elliptique. Il est composé de deux tuniques ou membranes, l'une externe et fibreuse, et l'autre interne et muqueuse. Sa membrane fibreuse, ou tunique externe, est épaisse, compacte, résistante ; dans son tissu on distingue plu-

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 4 et 5.

sieurs couches, dont les externes sont composées de grosses fibres dirigées transversalement, et les internes, de fibres plus fines et longitudinales ; la paroi inférieure de cette tunique est simple, presque partout de même épaisseur, libre à la surface inférieure, tandis que la paroi supérieure est complexe.

Cette dernière présente d'abord sur toute l'étendue de la ligne médiane un raphé renflé en un gros tendon, principalement à sa partie antérieure, et séparant, par la saillie qu'il forme, cette paroi en deux moitiés latérales égales et bien distinctes.

Ce tendon se soude par sa partie supérieure et sur la ligne médiane à l'aponévrose sus-musculaire, qu'il divise aussi en deux moitiés latérales et égales. On peut donc considérer ce tendon médian comme le *rhachis tendineux*, comme l'axe rachidien de tout l'appareil (1).

En outre, la ligne que suit le tendon dans la cavité vésicale représente le grand diamètre d'un espace en forme d'ellipse, dans lequel la membrane fibreuse ainsi que le bout postérieur d'une mince couche du tissu fibreux du tendon se divisent en délicates bandelettes, dont les plus externes sont disposées, par rapport au tendon, comme les nervures secondaires de certaines feuilles *penninerves* le sont à l'égard de la nervure médiane, et dont les plus externes se dirigent plus obliquement de dedans en dehors pour se terminer, de même que les internes, sur les côtés et à l'extrémité postérieure de l'espace elliptique. Toutes ces bandelettes laissent entre elles de petits intervalles presque réguliers et dont plusieurs s'anastomosent les uns avec les autres ; il en résulte un réseau fibreux qui bien souvent est d'un aspect élégant (2).

Les deux muscles intrinsèques ont chacun la forme d'un *coin*. Ils sont contenus chacun entre une des moitiés latérales de la paroi supérieure du corps vésical et la moitié correspondante de la forte aponévrose *sus-musculaire ;* chacun d'eux a son sommet ou sa partie la plus amincie appuyée et adhérente à l'un des côtés externes du gros tendon, et sa base ou sa por-

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 5, *t*, *t*, et fig. 6, *t*.

(2) T. XIX, pl. 16, fig. 5, *i*, *i*, *i*, *i*, et fig. 6, *n*, *n*.

tion la plus épaisse vient faire saillie et montrer à nu les ventres de ses faisceaux charnus les plus externes entre le bord de la paroi supérieure du corps vésical et le bord externe de la forte aponévrose sus-musculaire.

Ces muscles sont composés de faisceaux charnus très-compactes, très-nombreux, très-serrés les uns contre les autres, entre lesquels je n'ai jamais vu de tissu adipeux. Tous les faisceaux charnus d'un même muscle se dirigent dans le même sens et dans l'ordre le plus parfait, transversalement à la longueur du corps vésical et un peu obliquement de haut en bas et de dedans en dehors. Les bouts supérieurs de tous leurs faisceaux prennent insertion sur la face inférieure de la forte aponévrose sus-musculaire, et leurs extrémités inférieures s'attachent en partie à la paroi supérieure du corps vésical, en partie à la face supérieure des délicates bandelettes du *réseau fibreux*. A travers les mailles de ce dernier, on aperçoit la couleur rougeâtre qui est propre à ces muscles, et qui, par contraste, fait mieux ressortir la blancheur de cet élégant réseau.

La membrane muqueuse, ou tunique interne, est comparativement épaisse, pourvue d'un assez grand nombre de vaisseaux. Elle revêt en avant toute la surface interne de la fibreuse, recouvre en dedans l'*espace elliptique*, et à travers les mailles du réseau fibreux elle est là en contact immédiat avec quelques portions des fibres musculaires.

Elle loge dans son épaisseur la partie supérieure des *corps rouges*, qui sont rangés en ligne courbe sur chacun des côtés de la paroi inférieure de la fibreuse (1); arrivée à la ligne qui sépare les trois quarts antérieurs du quart postérieur, cette membrane forme une duplicature annulaire ou cloison trans-

(1) Duvernoy (voy. *Leçons d'anatomie* de Cuvier, 2e édition, t. VIII, p. 711) nie positivement l'existence de ces *corps rouges* dans la vessie de ce Poisson, et d'autres auteurs modernes ont répété cette assertion erronée; mais ces corps s'y trouvent non-seulement constamment, mais encore tellement apparents, qu'ils ne peuvent échapper à l'attention d'un observateur. C'est sans doute là une omission commise en rédigeant des notes longtemps après la dissection de la pièce anatomique que l'on croit décrire exactement.

versale percée en son centre de figure d'une ouverture ronde, et entre les deux feuillets de cette duplicature se trouvent plusieurs couches de tissu conjonctif dont les fibres, mêlées à des fibres du tissu élastique, se dirigent en différentes directions très-irrégulièrement; quelques-unes, aux environs de l'ouverture, sont courbées en portions ou segments de cercle. J'ai cherché avec un grand soin s'il y avait quelques faisceaux primitifs de fibres rayées en travers de tissu musculaire, et n'en ai trouvé aucun; j'ai bien vu quelques agglomérations de fibres paraissant être plates, qu'on pouvait, au premier abord, prendre pour des fibres musculaires lisses, mais un examen plus attentif m'a fait reconnaître que ces prétendues fibres plates ne sont que des assemblages de fibres de tissu conjonctif qui, ainsi réunies, simulent d'autres éléments histologiques. En arrière de cette cloison incomplète, à laquelle Duvernoy a donné le nom de diaphragme (1), la membrane muqueuse, qui s'est réfléchie sur elle-même au pourtour de l'ouverture centrale de la demi-cloison, continue à tapisser le bout des parois de la fibreuse. Ce bout postérieur, séparé ainsi de la grande cavité antérieure par la duplicature transversale de la muqueuse, forme comme une seconde et petite vessie à la suite d'une plus grande. Car, d'une part, les *corps rouges* ne se continuent pas dans cette cavité postérieure, et, d'autre part, la muqueuse qu'on y trouve paraît plus vasculaire que celle de la grande cavité antérieure. La cloison, perforée à son centre, n'est pas, du reste, placée perpendiculairement au grand axe du corps vésical, mais dans un plan oblique de haut en bas et d'avant en arrière.

Les lobes latéraux ou appendiculaires de l'appareil vésico-pneumatique ne sont que des productions des deux divisions antérieures du corps vésical; chacun de ces lobes se dirige d'abord en avant, puis se replie sur l'un des côtés du corps vésical, et le suit en se prolongeant en arrière jusqu'à l'extrémité postérieure de ce corps (2). Chaque lobe est en général

(1) T. XIX, pl. 16, fig. 5, *d*, *r*, *r*, *s*, *s*.
(2) T. XIX, pl. 16 et 17, fig. 4, 5 et 6, *c*, *c*, *b*, et fig. 7, 8, 9, 10.

irrégulièrement cylindrique, et son diamètre va, en premier lieu, en diminuant de grandeur d'avant en arrière, se rétrécit brusquement, et, se prolongeant sous forme d'une corne très-étroite, se termine par une pointe plus ou moins aiguë.

Le lobe gauche est toujours plus large et plus long que le droit, et finit par une corne plus courte que celle du lobe opposé. Les parois de ces lobes sont formées par la continuation de la membrane propre ou fibreuse, et en dedans par la tunique muqueuse du corps vésical ; ces deux membranes sont uniformément appliquées l'une sur l'autre et n'offrent rien de notable. La cavité de chaque lobe se rétrécit un peu à son embouchure dans la cavité du corps vésical, mais s'élargit ensuite pour prendre exactement la forme des parois; elle est du reste tout à fait simple, sans apparence de cloison ou de modification quelconque.

Les vaisseaux artériels et veineux de cet appareil diffèrent si peu de ceux qui entrent dans la composition des vessies pneumatiques en général, que je ne crois pas nécessaire de décrire ces premiers vaisseaux.

Parmi les nerfs qui se distribuent à cet appareil vésico-pneumatique, ceux qui doivent surtout fixer l'attention sont deux gros cordons nerveux dont chacun vient animer un des muscles intrinsèques. Ce cordon nerveux sort de la moelle allongée, en dessous et un peu en arrière de la dernière racine du pneumogastrique, et, après un court trajet dans la cavité cérébrale, s'unit à quelques filets nerveux souvent doubles, qui émergent latéralement de la moelle épinière des *ganglions postérieurs* (Cuvier), qui ont d'assez fortes dimensions dans cette espèce de Poisson. Le faisceau nerveux qui résulte de l'union du cordon des quatre autres nerfs ou filets nerveux traverse un trou de la colonne vertébrale voisin de celui qui donne passage au dernier tronc des nerfs pneumogastriques.

En dehors de ce trou, le cordon se dégage du faisceau, traverse le diaphragme ventral, le rein, une masse de tissu conjonctif, des feuillets du péritoine, et arrive près de la partie

antérieure et latérale de l'appareil vésico-pneumatique, étant resté constamment du même côté de la ligne médiane où l a pris naissance, et n'ayant donné aucun filet nerveux notable aux organes à travers lesquels il a passé. Il pénètre enfin en avant et en bas dans le muscle intrinsèque du même côté, le parcourt en se rapprochant de son bord supérieur, envoie dans diverses directions de grosses ramifications aux faisceaux musculaires, et diminue progressivement de volume en arrivant vers l'extrémité postérieur du muscle, où il se termine en se ramifiant dans les derniers faisceaux de ce muscle.

J'ai suivi avec soin les plus petits filets nerveux qu'émet ce nerf dans l'intérieur du muscle et n'ai vu aucun d'eux parvenir jusqu'aux parois du corps vésical ; c'est donc un nerf entièrement musculaire, et il est non moins certain qu'il fait partie de la dernière paire des nerfs cérébraux (Cuvier).

L'appareil vésico-pneumatique du Perlon est situé dans la cavité ventrale plus en avant que ne l'ont indiqué les auteurs. Le bord antérieur du corps vésical se trouve à 20 ou 25 millimètres du diaphragme ventral, et correspond au corps de la troisième ou de la quatrième vertèbre dorsale.

L'indépendance relative de cet appareil est bien marquée par la nature et la faiblesse des liens qui le maintiennent dans l'abdomen. La surface supérieure de l'aponévrose *sus-musculaire*, qui limite en haut l'appareil, s'attache, par un tissu connectif à mailles lâches, à l'aponévrose médiane et un peu latéralement aux aponévroses qui revêtent la couche profonde des grands muscles latéraux tout à fait sur les côtés et en arrière.

Plusieurs lames péritonéales dont les bords internes s'insèrent sur les côtés des lobes latéraux, et celle qui recouvre toute la surface inférieure de l'appareil, contribuent aussi à tenir ce dernier à la place qu'il occupe dans la cavité ventrale.

Ces liens, comme on le voit, ne sont pas inébranlables : aussi à l'aide de légères tractions est-il aisé d'attirer l'appareil, tantôt d'un côté, tantôt d'un autre ; tractions qui n'auraient aucune action sur la vessie pneumatique de la plupart des Poissons bruyants, qui, chez eux, est ordinairement fixée solidement aux

parties cartilagineuses, ou osseuses, ou aponévrotiques, qui lui servent de point d'attache.

Le développement génésique de l'appareil vésico-pneumatique est en général très-lent chez le Perlon et n'est pas exactement en rapport avec la taille du sujet, du moins durant les premiers mois de son accroissement. Ainsi, chez quelques individus qui sont longs de 15 centimètres, on rencontre souvent un appareil de 14 millimètres de longueur, avec des lobes qui ne sont représentés que par deux proéminences sur le côté antérieur du corps vésical, séparées par une profonde échancrure, qui, de plus, sont dirigées directement en avant et divisées en leur bout chacune en deux ou trois dentelures.

Dans d'autres sujets un peu plus ou moins grands que les précédents, on voit les proéminences lobulaires s'allonger d'abord en se courbant en dehors. Puis, dans d'autres individus encore, on observe que ces proéminences ou ces lobes se contournent en arrière et descendent le long de chacun des muscles pour s'arrêter à la moitié de la longueur du corps vésical. Enfin, des Perlons n'ayant pas plus de 19 centimètres de longueur offrent souvent des appareils mesurant 20 millimètres de longueur, dont les lobes latéraux sont comparativement plus longs, mais aussi beaucoup plus grêles qu'ils ne le seront plus tard, et leurs autres parties constitutives sont également disproportionnées.

Cet appareil n'a pas besoin d'avoir acquis les dimensions que je lui ai attribuées plus haut chez les individus avancés en âge pour produire des sons ; dès que le Poisson qui le porte est en frai pour la première fois de sa vie, cet instrument physiologique est devenu apte à engendrer des vibrations sonores (1).

Je terminerai ces réflexions sur l'accroissement comparatif du corps entier et de l'appareil vésico-pneumatique en constatant que ce n'est que chez les Poissons de cette espèce qui étaient parvenus à la taille de 38 à 40 centimètres que j'ai trouvé cet appareil complétement développé.

Tels sont les détails anatomiques dans lesquels je ne crains pas

(1) T. XIX, pl. 17, fig. 7, 8, 9 et 10.

d'entrer pour faire connaître un appareil vésico-pneumatique sur lequel quelques auteurs avaient fourni des données zootomiques suffisantes quand on considérait cet ensemble d'organes comme une simple vésicule aérienne, mais qui n'ont fait aucune mention des particularités organiques desquelles il est nécessaire d'avoir une connaissance bien précise pour comprendre approximativement le mécanisme de cet appareil.

Je dois prévenir le lecteur que, dans la comparaison descriptive que je vais faire des appareils des six autres espèces de Trigles avec celui du *Trigla Hirundo*, je ne parlerai que des parties organiques dissimilaires dans les deux sujets que je comparerai, et que j'omettrai à dessein d'attirer l'attention sur celles qui sont semblables : j'éviterai ainsi de nombreuses répétitions.

La principale, la plus apparente différence qu'on remarque entre l'appareil générateur des sons du Perlon et ceux des autres Trigles dont je m'occupe actuellement, consiste dans la diminution du volume ou dans l'absence totale de ces lobes. C'est en suivant les degrés de décroissement de grandeur de ces appendices lobulaires que j'ordonnerai les six espèces dont je me propose de ne donner ici qu'un simple précis comparatif.

Après l'appareil du Perlon, dont les lobes sont si grands, que la somme de leur surface est presque équivalente à celle du corps vésical, ce sont les appareils du Grondin gris, du Rouget commun et du Grondin rouge (Cuvier) qui ont le plus de grandeur ; mais les dimensions de ces appareils diminuent aussi de plus en plus, suivant l'ordre dans lequel je viens de nommer ces espèces.

Dans aucune d'elles les lobes latéraux ne se courbent en arrière ; ils se prolongent simplement en avant en divergeant entre eux ; ce qui donne au bout antérieur de l'appareil, quand il n'est pas gonflé par des gaz, l'aspect de la moitié supérieure d'un cœur de carte à jouer (1).

Les appareils, dans ces trois espèces de Poissons, ont des dimensions proportionnelles dont on se formera une idée bien exacte, d'après les données principales qui suivent :

(1) T. XIX, pl. 19, fig. 20 et 22.

La longueur de ces appareils est contenue sept fois chez le Grondin gris, six fois chez le Rouget commun et quatorze fois chez le Grondin rouge, dans la longueur totale du corps du Poisson; leur largeur, dans les deux premières espèces, n'est que les quatre sixièmes de leur longueur; dans la troisième espèce, les lobes latéraux, les muscles et toutes les autres parties sont réellement minimes comparativement à celles du Perlon. Dans le Grondin gris et le Rouget camard, le raphé médian, qui n'est qu'une forte aponévrose, est plus large dans le Grondin gris et beaucoup plus ample encore, d'un de ses côtés à l'autre, chez le Rouget camard que le tendon médian du Perlon. Il en résulte que les muscles dont les sommets sont séparés par ces raphés sont d'autant plus étroits, que ces aponévroses médianes sont plus larges, et que, par suite, une plus grande partie du corps vésical n'est plus recouverte par du tissu musculaire.

Sur chacun de ces muscles étroits, il y a un espace étroit aussi dans lequel la membrane fibreuse s'amincit, se divise en lanières seulement inégales et non en fines bandelettes presque régulières, comme dans le *réseau fibreux* du *Trigla Hirundo*.

Les lanières aponévrotiques, chez le Grondin, sont encore assez nettement séparées les unes des autres, mais elles sont bien moins nombreuses et, en général, plus courtes que les bandelettes de l'appareil du Poisson que j'ai pris pour terme de comparaison. Ces lanières, chez le Rouget commun, sont bien moins séparées, plus transversalement dirigées et plus courtes encore que dans le Grondin gris. Enfin, chez le Grondin rouge, dans les deux espaces où la membrane fibreuse diminue ordinairement d'épaisseur chez ses congénères, cette membrane chez lui est réduite à une simple pellicule sinueuse, si transparente, qu'on n'y distinguerait à peine quelques lanières mal limitées par des incisions longitudinales; aussi ressemblent-elles à des lignes de points blancs séparées par des brisures transversales (1).

(1) Malgré tous les soins que j'ai pris depuis huit ans pour me procurer les plus grands individus des espèces Grondin rouge, Morrude, Cavillone et Rouget commun, pêchés aux environs des ports de Marseille, je dois déclarer que je ne suis pas certain d'avoir disséqué un seul Trigle de ces espèces parvenu à un âge assez avancé pour avoir

Dans l'appareil vésico-pneumatique de la Morrude, les lobes latéraux sont tout à fait rudimentaires, et apparaissent sur le bout antérieur du corps vésical sous forme de deux petites pointes, une de chaque côté et séparées par une échancrure médiane et peu profonde du corps vésical.

Celui-ci est ovoïde, et son bout postérieur, qui est allongé, se termine en pointe. La longueur de cet appareil est comprise *onze fois* dans la longueur du Poisson, et sa largeur est environ moitié de sa propre longueur. Les muscles sont aussi épais et, chose bien notable, aussi larges comparativement que ceux du Perlon. L'*espace elliptique* a une forme plus allongée, est proportionnellement plus long; les bandelettes aponévrotiques sont aussi plus longues et aussi régulières, et le raphé est plus étroit chez la Morrude que dans l'appareil que j'ai pris pour type. Enfin, dans la cavité abdominale du *Trigla lucerna*, Brunn., l'appareil est situé plus loin en arrière du diaphragme ventral que ne l'est celui du *Trigla Hirundo* (1).

L'appareil vésico-pneumatique de la Morrude clôt la série de ceux qui sont pourvus de lobes latéraux.

Celui du Rouget camard n'offre aucun appendice, aucun renflement particulier, ni aucun lobe. Sa forme est courte et ramassée, épaisse, plate supérieurement et fortement bombée en dessous; son bout antérieur est parfaitement arrondi, nullement échancré, et son bout postérieur est un angle obtus. Sa longueur est contenue huit fois dans la longueur de l'animal, et sa plus grande largeur est comprise un peu plus de deux fois

son appareil vésico-pneumatique complétement développé. Les motifs de mon incertitude à cet égard sont les suivants :

1° Dans tous les traités d'ichthyologie que j'ai consultés, la grandeur maximum de la taille des individus ne m'a pas paru établie sur un assez grand nombre d'observations.

2° Ces espèces sont du nombre de celles que les engins destructeurs du fretin et même des jeunes plus âgés que ceux qu'on doit légitimement reléguer dans le fretin, pourchassent avec le plus d'acharnement et ne laissent nulle part assez vieillir dans le eaux du littoral du département des Bouches-du-Rhône. L'absence, ou du moins la rareté extrême de trois de ces espèces, et la petite taille de la quatrième dans l'Océan, ne m'ont pas permis de compléter mes investigations sur le point en question.

(1) T. XIX, pl. 19, fig. 21.

dans sa propre longueur. La puissance et les dimensions de ces muscles sont remarquables parce qu'elles sont proportionnellement plus grandes que chez le Perlon, comme aussi son raphé est beaucoup plus étroit que le tendon médian de ce dernier Trigle.

D'après cette disposition anatomique, on voit que la largeur de ces muscles est telle qu'elle recouvre entièrement la surface de l'appareil, et c'est le seul exemple d'un aussi grand développement musculaire appliqué aux appareils générateurs de sons chez les Trigles européens. A la place de l'*espace elliptique* du Perlon, on observe, chez le Rouget camard, deux étroits espaces dont chacun suit le bord externe du mince raphé.

Dans chacun d'eux, la membrane fibreuse de l'espace elliptique est si amincie, qu'elle est réellement arachnoïdienne ; cette pellicule, si mince, est découpée sur quelques points seulement en lanières longitudinales, comme interrompues par une multitude de déchirures transversales.

Cet appareil n'est maintenu dans la cavité de l'abdomen que par une lame péritonéale qui le sertit et se soude au pourtour de son aponévrose supérieure ou sus-musculaire et par quelques rares fibres de tissu connectif. Par exception encore, de tous les appareils des Trigles européens, c'est celui qui est situé le plus loin en arrière dans la cavité ventrale du Poisson, puisqu'il occupe l'espace compris entre les septième et treizième vertèbres dorsales.

La Cavillone est, de tous les Trigles dont il s'agit dans le présent paragraphe, celui chez lequel l'appareil de sonorité est le plus simple. La forme est celle d'un œuf très-obtus aux deux bouts (1). On n'y voit aucun appendice. Son bout antérieur offre sur la ligne médiane une légère dépression longitudinale qui se prolonge à une petite distance sur sa face inférieure. Sa longueur est, en moyenne, contenue six fois dans la longueur du sujet, et sa plus grande largeur est égale, aussi en moyenne, aux cinq neuvièmes de sa longueur.

(1) T. XIX, pl. 19, fig. 18.

Ses deux muscles intrinsèques ont une médiocre épaisseur et sont beaucoup plus étroits que ceux des autres Trigles dont j'ai parlé jusqu'ici. Ainsi, le raphé aponévrotique médian qui sépare les sommets de ces muscles est-il très-large et prend-il la place de l'*espace elliptique* dont j'ai parlé tant de fois chez le Perlon, et le transforme chez la Cavillone en deux espaces arrondis aux deux bouts, de moitié encore plus étroits que ne le sont les muscles rejetés sur le côté du large raphé. Dans chacun de ces espaces la tunique fibreuse est extrêmement mince et n'est réellement découpée que dans un seul petit endroit de son étendue. En un mot, chez la Cavillone, il n'y a que les linéaments du réseau fibreux à élégantes bandelettes qu'on trouve dans le *Trigla Hirundo*. Enfin, la disposition organique de l'intérieur de l'appareil est tout spécial, et le distingue conséquemment de tous ceux des autres Trigles européens.

Le tiers antérieur de la cavité du corps vésical est divisé en deux parties égales par une cloison verticale et longitudinale qui se termine en arrière par un bord mousse, falciforme, concave en avant et se prolongeant plus en bas qu'en haut. Les deux cavités latérales qui résultent de l'arrangement de cette cloison sont entièrement ouvertes en arrière dans la cavité générale postérieure.

Celle-ci ne présente nulle trace de la duplicature transversale de la membrane muqueuse ou du diaphragme dont Duvernois a le premier signalé l'existence dans le Perlon.

Les organes auditifs des Trigles (Cuvier) se ressemblent tous, et, comparés aux mêmes organes de la plupart des Poissons osseux, ils présentent des différences dont voici les principales :

L'écartement plus grand des deux oreilles, qui sont rejetées plus en dehors sur les côtés du crâne ; la moindre profondeur de la dépression osseuse qui est destinée à recevoir le *sac* et le *cysticule*.

La plus grande liberté dont jouit le tube semi-circulaire antérieur, qui, dans la gouttière où il est contenu, n'est enchaîné par aucune colonne labyrinthique, par aucun anneau cartilagineux ; et, enfin, les plus grandes dimensions comparatives du *sinus*

médian, des *trois ampoules*, de l'utricule, du *sac*, du *cysticule*, et des nerfs qui se rendent à ces parties organiques.

Parmi les différences les plus remarquables sont assurément les plus grandes dimensions des organes, dont le développement est considéré, par tous les auteurs, comme étant en rapport avec un plus grand degré de perfectionnement de l'ouïe.

§ 5.

Expériences démonstratives.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, j'ai démontré expérimentalement que les sons de la première subdivision de la seconde section sont produits par la vibration des muscles indépendants de la vessie pneumatique.

Je dois maintenant prouver, par des expériences non moins convaincantes que les premières, que l'appareil vésico-pneumatique est un instrument physiologique *générateur* de sons, aussi complétement indépendant du reste de l'organisme du Poisson qu'aucun autre appareil de psophose (1), ou même de phonation, de l'animal qui en est doué.

Les appareils des Trigles sont disposés très-favorablement pour la démonstration que je me propose de donner ici.

Il n'est même pas besoin de choisir parmi les espèces de ce genre que j'ai nommées plus haut, toutes indistinctement pourront fournir des sujets propres aux délicates et laborieuses expériences que je vais décrire le plus succinctement possible.

Dès que l'expérimentateur aura tiré de l'eau un de ces Trigles d'une taille moyenne (comme ceux, par exemple, qui pèsent un kilogramme), il l'étendra sur la table à opération, en le couchant sur le dos, la tête en avant, *et fera* aux parois du ventre, sur la ligne médiane, une incision pénétrante, commençant à la hauteur du diaphragme ventral, se dirigeant en arrière et mesurant en longueur celle du corps du sujet ; il écartera avec précaution les viscères qui pourraient recouvrir

(1) Voy. Dugès, *Physiologie comparée*, t. II, p. 218, définition du mot psophose.

la face inférieure du corps vésical, sur lequel il appliquera la pulpe du doigt. Chaque fois que le sujet formera des sons, il constatera, à l'aide du toucher, que cette vessie est animée de frémissements dont la durée et l'intensité seront exactement en rapport avec la tenue et la force des sons, et il remarquera que ces frémissements sont insensibles à la vue. L'ouverture de l'abdomen ayant pour effet immédiat l'affaiblissement des sons, il est convenable de faire usage d'un stéthoscope, dont l'expérimentateur appliquera le pavillon à peu de distance de l'endroit du corps vésical où il aura posé le doigt, afin que la moindre vibration sonore ne puisse échapper à son observation.

Il faudra abréger autant que possible cette investigation préliminaire, et, après avoir éloigné le stéthoscope, tout en maintenant le doigt sur la paroi vésicale, l'investigateur regardera attentivement cette dernière; il ne tardera pas à s'apercevoir que pendant l'émission des sons, elle sera de temps en temps agitée par des mouvements assez forts pour plisser ou tendre davantage la vessie en divers endroits et en divers sens, et même pour la déformer partiellement.

Il sera aisé de s'assurer que ces mouvements, très-visibles et incomparablement plus grands que ceux qui constituent les frémissements, s'exécutent en même temps que les frémissements appréciables seulement au toucher.

L'expérimentateur procédera le plus promptement possible à la séparation de la plus grande portion de la paroi supérieure de l'appareil vésico-pneumatique de la voûte de la cavité abdominale.

Cette opération très-délicate ne présente pourtant que trois petites difficultés, qui consistent : d'une part, à ne point soulever, ne pas tirailler les liens qui joignent le plafond du ventre avec la surface supérieure du tiers moyen du corps vésical, dont le milieu est traversé par un groupe de vaisseaux sanguins naissant de l'aorte et des grosses veines collatérales et venant se répandre dans l'appareil; et d'autre part, à ménager la continuité des deux cordons nerveux qui, sortis du crâne, s'étendent d'avant en

arrière sur la paroi interne et supérieure de l'abdomen, parallèlement à l'épine vertébrale, et s'en éloignent à la hauteur de chacun des angles antérieurs du corps vésical pour pénétrer immédiatement dans la partie antérieure d'un des muscles intrinsèques de cet appareil. Muni des instructions qu'il aura puisées dans le présent écrit, l'opérateur prendra toutes les précautions nécessaires pour surmonter lestement ces difficultés.

Après avoir laissé intactes les adhérences si fragiles du tiers moyen ou du centre du corps vésical avec la voûte abdominale, il séparera promptement, mais pourtant avec beaucoup de ménagements, tout le reste de la paroi supérieure de l'appareil du corps du Poisson, auquel il est uni par du tissu lamineux à mailles très-lâches, tissu qu'il pourra à son choix couper ou lacérer méthodiquement à l'aide d'un instrument mousse, tel que le bout d'une spatule ordinaire. Quant aux lamelles péritonéales qui environnent l'appareil, il est extrêmement aisé de les fendre ou de les déchirer.

Parvenu à cette phase de la vivisection, l'expérimentateur devra prendre en grande considération que l'appareil vésico-pneumatique ne tient plus au corps du Poisson :

1° Que par une petite portion du milieu du corps vésical au moyen des vaisseaux sanguins très-fragiles;

2° Et tout à fait en avant par deux cordons nerveux non moins faciles à rompre que les vaisseaux ci-dessus mentionnés;

3° Que la vivisection qu'il a accomplie en moins de temps que je n'en ai mis pour la décrire a néanmoins duré un certain temps, et il en conclura qu'il est urgent, tout en ne perdant pas une seconde, de bien mesurer la portée de tous les mouvements et de n'en effectuer aucun d'irréfléchi pour achever la démonstration qu'il se propose de faire. Il procédera, autant que possible, suivant le dire latin : *Festina lente.*

Dans ce but, après avoir placé la main gauche en supination et écarté l'un de l'autre deux doigts, soit le médius et l'annulaire par exemple, il les introduira entre la surface supérieure des deux lobes et le plafond de la cavité du ventre, en allant d'arrière en avant, puis il glissera avec lenteur et le toucher le

plus délicat une certaine partie de l'entre-deux de ses doigts sous le corps vésical, et poussera la main en avant jusqu'à ce que le bout de ses doigts atteigne ou dépasse, s'il est possible, les angles antérieurs du corps vésical. Alors il rapprochera délicatement ses doigts l'un de l'autre et entourera avec les autres doigts de la même main les parois de l'appareil qu'il tiendra, pour ainsi dire, tout entier dans sa main gauche; ensuite, de l'autre main, il appliquera le pavillon d'un stéthoscope garni de baudruche, comme je l'ai dit plus haut, et enfin il concentrera toute son attention sur les sens de son toucher et de son ouïe.

Si l'expérimentateur a exécuté cette vivisection compliquée avec toute la célérité et les nombreuses précautions qu'elle réclame, le sujet, dans la majorité des cas, aura conservé assez de vigueur pour faire entendre des sons faibles, mais encore perceptibles à l'aide d'un stéthoscope très-sensible, tandis que les doigts sentiront plusieurs séries de frémissements vibratoires.

Comme complément de la démonstration précédente, sur un autre sujet plein de vie et de force et émettant des sons, on coupera, à sa sortie de la colonne vertébrale, ou plus facilement dans l'abdomen, le nerf qui va distribuer ses rameaux dans un des muscles intrinsèques, et tout aussitôt on remarquera que les sons seront devenus moins forts ou moins fréquents. Si l'on fait la section du nerf de l'autre muscle, le Poisson perdra immédiatement la faculté de former des sons.

Toutes les expériences énoncées dans la seconde partie de ce mémoire, ayant un but commun semblable, ont elles-mêmes tant de ressemblance dans les faits et dans les conséquences, qu'on en peut induire que le lecteur qui avait présentes à la pensée les données expérimentales que j'ai présentées dans les chapitres relatifs aux Malarmats et aux Lyres, ainsi qu'aux Maigres et aux Hippocampes, aura assurément, en prenant connaissance des vivisections que je viens de décrire, tiré les principales conclusions des faits probants qui y sont exposés. Il serait donc superflu de discuter ces faits, et je puis immédiatement en déduire les conclusions suivantes :

1° L'ensemble d'organes que j'ai désigné par la dénomination

d'appareil *vésico-pneumatique* mérite bien le nom d'appareil organique.

2° Cet appareil est un instrument physiologique, un générateur de sons qui peut avoir d'autres fonctions, mais qui certainement a celle de produire des sons.

3° Les muscles intrinsèques de cet appareil, en se contractant, engendrent des frémissements vibratoires qui, renforcés par la vessie, deviennent des vibrations sonores facilement perceptibles.

4° Ces muscles, en se contractant pendant qu'ils vibrent, peuvent changer la forme de la vessie, tendre ou relâcher telle ou telle partie de cet organe, de ce flexible instrument de renforcement, et par ces changements modifier plusieurs qualités des sons (1).

La disposition anatomique de l'appareil vésico-pneumatique du *Zeus faber* et du Dactyloptère voltigeant est loin de se prêter aussi bien que chez les Trigles à des expériences démonstratives semblables à celles dont il vient d'être question.

Si je voulais donner quelques détails sur les vivisections extrêmement compliquées qu'il faut pratiquer sur des sujets des deux espèces dont il s'agit ici pour constater aussi rigoureusement tous les faits probants d'où découlent les conclusions identiques à celles énoncées plus haut, il me faudrait écrire tout un traité de vivisections qui dépasserait le cadre de ce mémoire, déjà de si longue haleine. Je ne ferai donc qu'indiquer les moyens les plus simples de vérifier le fait principal qui implique par une analogie irrécusable tous les autres faits propres à prouver l'identité de fonctions des appareils des deux espèces nommées en tête du présent alinéa avec celui des Trigles.

Quoique les muscles de la vessie du Poisson Saint-Pierre soient à très-petite profondeur au-dessous de la peau qui avoisine le haut

(1) Il est peut-être des cas dans lesquels tous les faisceaux charnus de ces muscles sont employés à la formation des sons et vibrent en même temps; mais j'ai constaté que très-fréquemment les seuls faisceaux charnus qui vibrent et engendrent les sons font partie de la couche musculaire en contact avec la membrane fibreuse du corps vésical, et que ce sont tous les autres faisceaux charnus qui ne vibrent pas qui changent la forme de l'appareil. — Voyez ce que j'ai dit page 46, 2e partie, chap. I, §§ 3, 4, corollaire. n° 3.

de la ceinture humérale de cet animal, il n'est pas aisé de les mettre à nu sans intéresser les nerfs qui, avant de pénétrer à leur intérieur, s'étalent à leur surface externe, la seule qui soit facilement et promptement accessible.

Cette première difficulté vaincue, on découvrira une petite portion de la paroi membraneuse de la vessie en portant d'abord séparément, puis ensuite simultanément, le doigt et un stéthoscope dont on aura armé son oreille, sur l'un des muscles et sur la paroi membraneuse vésicale; on s'assurera que des frémissements, d'autres mouvements, des bruits et des sons analogues à ceux décrits dans mes expériences sur les Trigles, ont lieu dans la vessie du *Zeus*.

Pour arriver à une pareille vérification expérimentale chez le Dactyloptère, je conseille de s'en tenir à employer les mêmes moyens d'investigation, en ouvrant l'abdomen en dessous, près des pectorales; à constater les mouvements partiels visibles de la vessie, les frémissements vibratoires d'abord sur le muscle luimême, ensuite sur la paroi vésicale, et enfin la coïncidence de ces deux mouvements durant l'émission des sons.

Ces preuves expérimentales, quoique moins complètes que celles exécutées sur les Trigles, par cela seul qu'elles viennent à la suite des premières et qu'elles leur sont, sous les principaux rapports, complétement semblables, entraînent la conviction, à savoir, que les fonctions de tous ces appareils sont identiques.

§ 6.

J'arrive maintenant à l'examen des sons que produisent les dix espèces de Poissons qui sont l'objet des paragraphes 2, 3, 4 et 5 du présent chapitre.

Intensité des sons. — L'intensité des phénomènes acoustiques qui sont émis par ces espèces n'ont rien de notable, du moins dans les circonstances où j'ai pu les observer (1). Je puis dire en

(1) Il ne m'a pas été donné d'assister d'assez près aux manœuvres aériennes qu'exécutent les Dactyloptères après s'être élancés hors de l'eau, pour que j'aie pu apprécier l'intensité du bruit qu'on dit qu'ils font en pareille occurrence, et je n'ai pas non plus

général que les sons formés dans l'atmosphère par celles de ces espèces qui atteignent la plus grande taille peuvent être entendus à 3 mètres de distance.

Tenue des sons. — Parmi les sons que forment ces Poissons, les plus communs sont des émissions sonores, simples, soutenues plus ou moins longtemps, et d'autres d'une tenue très-courte. Ces premières émissions sonores peuvent durer depuis une fraction de seconde jusqu'à deux ou trois minutes. Toutefois la plus longue tenue que je viens d'indiquer est rare et n'a lieu que chez les sujets possédant les fonctions de l'expression sonore complétement développées (1); les sons soutenus sont presque tous de même intensité pendant toute leur tenue, mais quelques-uns vont s'affaiblissant et finissent par ressembler à un bruissement ou à une suite de chocs précipités.

Au nombre des émissions sonores d'une durée très-courte, il en est beaucoup qui ressemblent aux cris d'un Oiseau qui piaule ou à ceux d'une Souris; il y en a aussi qui ont quelque ressemblance avec l'aboiement d'un jeune Chien; enfin d'autres émissions sont tellement instantanées, qu'on peut les regarder comme de simples bruits. Celle de ces émissions qui mérite le mieux d'être citée est semblable au choc d'une lame métallique contre un corps dur, ou au bruit que rend le cliquet sur chaque dent de la roue du tambour d'une pendule que l'on remonte.

eu l'occasion de faire des investigations assez suivies pour être fixé à l'égard de la force des grondements que feraient entendre, suivant l'assertion de Duhamel et les propos de quelques pêcheurs rochellois, les Grondins gris, quand ils nagent en grande troupe et à une petite profondeur sous l'eau. Si je m'en rapportais exclusivement aux appréciations que je trouve dans mes notes, j'avancerais qu'il en est des Grondins comme des Lyres, dont le bruit n'est entendu que dans le cas où ils ne sont pas à plus de 2 mètres sous l'eau, lorsque l'observateur a son oreille placée à un mètre au-dessus du niveau de la mer.

(1) J'ai observé une Morrude qui a soutenu le même son, la même note pendant plus de *huit minutes*, au bout desquelles le son a faibli et l'animal est mort tout à coup. Ce son soutenu avec une telle persistance aux approches d'une mort sans agonie apparente me semble devoir être attribué à une contraction convulsive plutôt qu'à une contraction physiologique. J'avais d'abord admis que cette contraction était normale; mais, en relisant une de mes notes plus détaillée que j'avais égarée, j'ai adopté l'opinion que je viens d'énoncer.

Tons. — Des innombrables sons que m'ont fait entendre une très-grande quantité d'individus des espèces dont il s'agit ici, je ne veux parler présentement que des vibrations sonores qui avaient une tenue suffisamment longue pour que j'aie pu en chercher et en trouver l'unisson en les comparant à loisir à l'aide d'un diapason. C'est sur cinq ou six cents sujets approximativement que j'ai fait les observations d'après lesquelles j'ai reconnu que tous ces sons étaient compris entre le si_2 et le $ré_5$. Il s'en faut bien peu que je n'aie entendu tous les tons et demi-tons contenus entre les dix-sept notes de l'échelle diatonique dont je viens de citer les termes extrêmes. J'ai entendu en outre une foule de comma intermédiaires, qui, chez ces Poissons, sont bien plus nombreux, bien plus nettement accusés que chez ceux qui émettent des sons de la première subdivision.

Diapason individuel. — L'échelle diatonique des sons soutenus dont est doué chaque individu est en général comprise entre une quinte et une sixte, ou, en d'autres termes, chaque Poisson peut former tous les sons compris entre cinq notes consécutives de la gamme, ou entre six notes successives d'une série diatonique, selon son plus ou moins d'aptitude à la production des sons et suivant aussi le temps de repos ou d'activité de ses organes de la reproduction.

Timbre. — Le nombre des variétés de timbre des sons que j'essaye de dépeindre est tellement grand, que, pour en donner un aperçu, je dirai tout de suite que j'aurai à les comparer au timbre des sons de presque tous les instruments de musique connus et à celui des sons d'autre nature.

Les variétés les plus communes ont beaucoup d'analogie avec celles résultant des vibrations du voile du palais de l'homme qui prononce et soutient durant quelques secondes les syllabes *tra*... *tri*... *tre*... et *trou*..., et le son continu que le Chat fait entendre pour exprimer son contentement. Viennent ensuite, dans l'ordre de leur fréquence, les différentes nuances du timbre de l'anche métallique ou végétale que nous retrouvons dans plusieurs instruments simples, l'accordéon, la guimbarde, la *pratique* des joueurs de marionnettes, et dans d'autres plus complexes, tels que

l'orgue à anche, le cor anglais, le haut-bois, la clarinette, le basson et quelques saxophones à anche. D'autres variétés assez fréquentes sont celles qui rappellent les sons de certains instruments à cordes : par exemple, le monocorde modifié et dans lequel on remplace le chevalet par une vessie pneumatique gonflée de gaz ; la vielle ; certaines cordes de violon ou de violoncelle, de l'alto, de la contre-basse, de la mandoline, de la guitare, du téorbe, de la pédale imitant le basson dans un piano, de la harpe éolienne ou de la harpe moderne.

En troisième lieu, les variétés qui se présentent souvent aussi sont : celles du timbre des membranes vibrantes et de divers instruments de musique où ces membranes jouent le principal rôle, comme dans le tambour militaire, dont la corde à boyau, nommée plus particulièrement *timbre*, a encore quelque analogie avec le monocorde modifié comme je viens de le dire ; le tambour de basque dégarni de ses lames métalliques et de ses grelots ; le tambourin de Provence et le mirliton, qui établit en quelque sorte une transition entre les instruments précédents et ceux qu'on peut appeler instruments à vent sans anche, tels que : l'orgue à bec de flageolet, le flageolet, le simple sifflet, le fifre, la flûte traversière, la flûte de Pan ; enfin le cor d'harmonie, la trompette, et toutes les variétés où les lèvres de l'homme font office d'une anche : mais les variétés du timbre de ces derniers instruments se rencontrent moins souvent que les autres. Je signalerai encore comme assez rare le timbre semblable à celui de l'harmonica.

Ces Poissons font aussi entendre des sons un peu confus, dont les plus communs ressemblent aux variétés du bruit fondamental de la contraction musculaire, je veux dire du bruit de *rotation*, ou bien au bourdonnement des Hyménoptères et Diptères, émissions sonores dont la contraction musculaire est le principe (voy. *Considérations générales*), ou bien encore et moins souvent aux sons d'une crécelle.

Je ne finirais pas si je voulais rapporter ici les analogies sonores que ces variétés de timbres ont rappelé à ma mémoire quand je les ai étudiées ; mais les nombreuses citations que je viens d'en

faire, et dans lesquelles j'ai désigné les variétés qui peuvent être connues du plus grand nombre de lecteurs, suffiront, je l'espère, à donner une idée de la considérable diversité du timbre des sons dont je m'occupe en cet instant.

Successions, enchaînement, rhythme. — Je dois rappeler que la plus grande partie des sons qu'engendrent les Poissons dont il est ici question ne consistent qu'en une seule émission sonore soutenue dans le même ton avec le même timbre, et le plus souvent d'une égale intensité dans toutes ses parties.

Après ces émissions sonores, la succession de sons la plus simple et la plus fréquente est composée de la répétition du même son après une interruption, ou, comme on le dit en termes de musique, un silence. L'émission sonore initiale et la reprise du son initial ont ordinairement le même ton, la même tenue, la même intensité aussi bien que le même timbre.

Cette succession de deux mêmes sons séparés par *un silence* se répète très-fréquemment aussi plusieurs fois de suite.

De plus et un peu moins souvent, le silence est partagé en deux, trois, quatre parties par des sons d'une durée très-courte ou même instantanés, semblables à ceux que j'ai décrits plus haut.

Ce petit nombre de différentes successions sonores composées de sons soutenus, de silences et de sons courts ou instantanés, qui se reproduisent toujours les mêmes et souvent régulièrement dans le même ordre, sont de toutes les associations acoustiques celles qui se répètent non-seulement cinq ou six fois de suite, mais tout le temps pendant lequel on peut observer un poisson hors de l'eau sans danger pour sa vie. La fréquence de ces associations est telle chez le plus grand nombre de ces animaux, qu'un naturaliste qui n'aurait pas eu à consacrer un très-long temps à ces investigations aurait pu, après avoir entendu émettre si fréquemment ces associations sonores, croire qu'il n'avait plus rien à apprendre à ce sujet; mais on va voir qu'il se serait étrangement trompé.

En effet, pour être beaucoup moins fréquentes, d'autres séries de sons tiennent une place importante dans ces manifestations

sonores. Ainsi ce sont d'abord toutes les combinaisons possibles de trois éléments musicaux (sons soutenus, silences, sons instantanés) qui viennent grossir les ressources acoustiques de nos Acanthoptérygiens.

Après ces modifications j'ai encore à tenir compte d'autres d'un bien plus grand intérêt, je veux dire des changements de ton. Les plus simples, ceux qui ne sont formés que de deux sons soutenus et successifs d'un ton différent, sont employés par plusieurs espèces, et par cela même ne sont pas très-rares, mais ils paraissent convenir plus particulièrement à trois d'entre elles.

La plupart du temps l'intervalle entre ces deux tons est si petit, qu'il faut une oreille bien sensible, bien habituée aux nuances les plus fugaces, aux coma, pour la saisir; d'autres fois, et beaucoup plus rarement, l'intervalle est d'un demi-ton, d'un ton ou même de plusieurs tons, mais, comme on le pense bien, dans des rapports nullement harmoniques. Enfin, ce n'est qu'en des occasions exceptionnelles qu'on entend une série plus ou moins longue de sons de différents tons. Le plus souvent les tons ne se succèdent pas en progression ascendante ou descendante continue, comme les roulades ou autres *fioritures* musicales, ils se suivent au contraire avec la plus grande irrégularité, le plus grand pêle-mêle; les tons les plus élevés succédant aux tons les plus bas, les tons moyens suivant tantôt les plus graves, tantôt les plus aigus, et la plupart en général s'entrecoupant mutuellement et empiétant les uns sur les autres dans le plus grand désordre harmonique qu'on puisse imaginer, rappelant ainsi le charivari primitif ou celui produit par un orchestre dont les musiciens accordent tous ensemble leurs instruments, ou encore les morceaux d'ensemble des musiques des régiments turcs ou arabes.

Mutabilité multiple du timbre et du ton. — Parallèlement au changement de ton, il me reste à parler des changements de timbre. Tant qu'une modification de timbre ne porte pas sur un son soutenu dans le même ton, il ne faut qu'être prévenu de la possibilité de cette modification et y faire un peu attention pour constater quelle est réellement la nature de la modification qu'a subie le son initial; mais j'ai tout lieu de croire qu'une pareille

mutation a été souvent la cause des méprises qui ont été commises par certains observateurs dont les investigations n'étaient que bien superficielles et relatives à la recherche du Poisson qu'Aristote a nommé Κοκκυς. Quoi qu'il en soit, je recommande aux naturalistes qui voudraient répéter mes expériences d'étudier le changement de timbre dans le cas simple dont il vient d'être question, car, dès qu'un changement de ton se complique d'une mutation de timbre, il devient difficile pour l'investigateur novice de se rendre compte de ce qu'il entend, et je dois ajouter que cette complication est très-fréquente, non-seulement dans les successions de deux ou trois sons avec changement de ton, mais encore dans ces longues séries de sons où ces changements se répètent quinze ou seize fois de suite, séries que j'ai comparées à un charivari; aussi, dans ces dernières circonstances, l'investigateur expérimenté ne se trouverait pas dans un moindre embarras que celui dans lequel j'ai été moi-même.

Pendant assez longtemps j'ai entendu ces longues successions de sons ayant tous des tons différents, sans pouvoir m'expliquer un effet baroque qui venait s'ajouter à ces longues suites de sons discordants, et ce n'est pas sans perte de temps et sans difficulté que je suis parvenu à analyser assez bien les sensations auditives que me donnaient de pareils amalgames sonores, pour reconnaître que l'effet baroque qui m'avait tant intrigué résultait de ce que presque tous les changements de ton étaient accompagnés d'une modification de timbre.

Cette double mutabilité incessante à laquelle rien, dans les phénomènes acoustiques ordinaires, n'est comparable, donne à ces associations sonores une étrangeté sauvage ; c'est enfin une cacophonie inouïe digne par sa nouveauté d'exciter la curiosité.

Si, dans la description des sons de la première subdivision, je n'ai pas parlé de cette double mutabilité et de ses effets, c'est que, sans faire complétement défaut dans les sons de cet ordre, ils ne sont en général ni assez fréquents, ni assez nettement accusés pour attirer l'attention aussi vivement qu'ils le font dans les sons de la seconde subdivision.

En comparant la longue et difficile description que je viens de

faire des sons de cette dernière subdivision avec celles que j'ai données des sons qu'émettent les Lyres, les Malarmats, les Maigres, les Ombrines et les Hippocampes, dans chaque paragraphe relatif à chacune des différentes espèces, on remarquera que les neuf espèces de Poissons pourvus d'appareils vésico-pneumatiques ont un bon nombre de propriétés que ne possèdent pas ou n'ont qu'à un degré bien inférieur les sons que produisent les cinq espèces dont les noms précèdent, à l'exception pourtant de l'intensité de ceux que forment les Maigres, qui est considérable, comparativement à celles des effets de sonorité qu'engendrent tous les autres Poissons bruyants européens.

Si les facultés de l'émission sonore qui caractérise les neuf espèces munies d'appareils spéciaux atteignent à un degré de perfectionnement supérieur à celui qui est le lot des autres Poissons bruyants, ces facultés n'ont pas été pourtant réparties également à chacune de ces espèces. Ainsi, les sons que forment les *Zeus* sont très-sourds, bourdonnants, monotones, à proprement dire, offrent peu de changements de timbre, plusieurs variétés de bruits de *rotation*, et le diapason de l'espèce est le plus petit de ceux dont j'ai fait mention dans les généralités qui précèdent. Ces sons enfin ont une intensité qui est un peu moindre que celle des vibrations sonores que font entendre les Dactyloptères, les Grondins gris et les Rougets communs, mais plus grande que celle des manifestations sonores que produisent les Perlons, Rougets camards, Morrudes, Grondins rouges et Cavillones.

Dans leur ensemble, les sons émis par les Dactyloptères, les Grondins gris et les Rougets communs sont sans contredit les plus forts de tous ceux que rendent les neuf espèces dont il s'agit, et quoique les Dactyloptères aient des timbres et des modifications de sons qui leur soient propres, on peut les rapprocher des sons que forment les deux précédentes espèces pour en dire qu'ils sont beaucoup plus clairs, plus retentissants que ceux des *Zeus*, mais que les variétés de leur timbre, bien que plus fréquentes, y sont encore en nombre restreint; que les changements de ton y sont aussi moins rares, que l'échelle diatonique de chacune de ces espèces ne dépasse guère celle du Poisson Saint-Pierre, et que les sons

bourdonnants et les bruits rappelant la *rotation* y sont aussi abondants que chez ce dernier Acanthoptérygien.

Les deux espèces Grondin rouge et Cavillone ont été plus mal partagées dans la distribution des facultés génératrices de sons; elles possèdent bien les principales qualités de sons de la deuxième subdivision, mais à un si faible degré, que les sons incommensurables particuliers aux neuf espèces sont les plus nombreux et ne laissent que peu de place aux sons commensurables.

Enfin, les Rougets camards, les Perlons et les Morrudes l'emportent sur tous leurs congénères, sur les Dactyloptères, ainsi que sur les *Zeus*, par presque toutes les qualités des phénomènes acoustiques qu'ils peuvent produire : ils ont à leur disposition un bien plus grand nombre de sons complétement dissemblables; ils soutiennent mieux les sons simples, ils modulent mieux les sons composés; ils rendent plus distinctement de plus longues successions de sons différents de ton et de timbre, et il y a moins de dissonance dans l'ensemble des vibrations sonores qu'ils forment, mais tous ces sons le cèdent en intensité à ceux qu'engendrent les quatre espèces que je viens de citer comme émettant les sons les plus forts de ceux produits par ce groupe de neuf espèces.

Des Rougets camards, des Perlons, des Morrudes, de ces trois espèces vraiment privilégiées, c'est la dernière nommée ici qui l'est le plus.

Les phénomènes acoustiques formés par ces trois espèces représentent le degré le plus élevé de perfectionnement auquel peuvent parvenir les sons de la seconde subdivision chez les Poissons des mers de l'Europe.

Parvenu à cette conclusion, je crois que c'est le lieu de poser cette question : Que doit-on penser de la comparaison du chant du Coucou avec les sons que rend un individu du genre Trigle ?

La plupart des commentateurs d'Aristote ont fait tant de bruit autour de cette question, que je me vois obligé d'en dire quelque chose.

Tous les ichthyologistes savent qu'Aristote, en répétant une comparaison qu'il a trouvée établie de son temps, a nommé

Κοκκυς un Poisson que les naturalistes modernes croient être un Trigle indéterminé, et qui, suivant ce philosophe, était ainsi nommé parce que le bruit que fait ce Poisson ressemble au chant du Coucou (*Cuculus conarius* Lin.). En admettant avec les auteurs modernes les plus célèbres et les plus compétents que le Κοκκυς est réellement un de nos Trigles, j'ai cherché avec soin, parmi les phénomènes acoustiques de la seconde section, les associations de deux sons s'éloignant le moins possible du cri double du Coucou, et j'ai trouvé qu'il y a non-seulement une certaine association de deux sons, mais encore une simple modification d'un son unique, qui sont émis assez fréquemment, et qui ont pu par conséquent être entendus par des observateurs superficiels de tous les temps et leur en imposer assez pour que leur imagination, faisant tous les frais de la comparaison, les ait conduits à affirmer le dire d'Aristote, comme l'ont fait tant d'auteurs, et Rondelet entre autres. L'association sonore dont je veux parler résulte réellement de l'émission de deux sons consécutifs dont le premier est plus haut d'un petit intervalle, d'un comma, que le second; quant à la simple modification du son unique, elle dépend d'un changement de timbre d'un son soutenu dans son ton initial.

Ainsi la comparaison est assez inexacte pour qu'on ne puisse nullement déterminer si les anciens auteurs, ainsi qu'Aristote, ont voulu parler de la double émission sonore ou d'un seul son modifié ; et comme ces deux manifestations acoustiques diffèrent autant l'une que l'autre du chant du Coucou, on est fondé à penser que les observateurs ne se sont jamais entendus sur le fond de la question, et qu'ils se sont tous trompés en assurant que la comparaison était admissible ou en la traitant comme telle. De plus, les trois espèces privilégiées parmi les Trigles étant également aptes à produire ces deux manifestations acoustiques, on ne peut tirer aucun parti de la particularité du son affirmé par le philosophe de Stagire pour retrouver l'espèce qu'il a nommée Κοκκυς. Rondelet, auquel on aurait tort de reprocher sévèrement de n'avoir pas découvert qu'il n'y a pas seulement une, mais trois espèces qui auraient également droit par le même motif à être

reconnues comme étant le Poisson qu'Aristote a voulu désigner par le nom de Coucou, a du moins prouvé une fois de plus le soin qu'il mettait à examiner les animaux qu'il a décrits, en affirmant que la Morrude produit des sons qu'il a trouvés analogues à ceux du Coucou.

En définitive, la comparaison que je viens d'examiner est trop vague pour être de quelque utilité.

Il n'est pas difficile de critiquer la précédente comparaison ; mais, après y avoir mûrement réfléchi, je crois qu'il est impossible d'en indiquer une complétement satisfaisante.

Je pense que le jeu de l'un des instruments que j'ai souvent nommés l'orgue à anche ou l'accordéon serait seul capable de donner une idée approximative de l'ensemble des sons du *chant des Poissons*..

C'est assurément sur ces instruments qu'après une étude aussi approfondie, aussi complète que celle que j'ai faite, qu'un artiste, un organiste pourrait imiter moins imparfaitement quelques-unes des séries sonores que j'ai décrites plus haut, et donner ainsi au public une idée approximative des sons les plus simples et les plus communs que forment les espèces pourvues d'appareils vésico-pneumatiques.

Dans mon désir de favoriser la réalisation d'une semblable imitation, j'avais noté les séries les plus communes et les plus simples de ces sons ; mais j'ai renoncé à les publier pour plusieurs motifs, et le principal, c'est que l'on ne peut exprimer par les caractères employés en musique les notes coulées ainsi que les notes pointées, comme elles le sont réellement dans ces séries, et conséquemment tout l'effet imitatif des séries fondamentales, qui sont en grande partie composées de notes pointées et coulées, viendrait mal ou serait complétement manqué, si l'artiste exécutant n'avait pas eu l'occasion de faire des observations spéciales sur la nature à l'égard des notes dont il s'agit ici. De quelque façon qu'on s'y prenne, il faut de plus renoncer à rendre les comma si fréquents dans ces séries sonores ; et sur ces instruments eux-mêmes, aussi bien que sur aucun autre connu juqu'à ce jour, on ne pourra jamais imiter ces notes qui restent

constamment les mêmes quant au ton, tandis que le timbre change deux ou trois fois ; et bien moins encore pourra-t-on jamais exprimer ces sortes de fioritures, ces longues associations de sons formés de vingt à vingt-cinq sons différents, dans lesquelles chaque changement de ton est accompagné d'au moins une modification du timbre, associations sonores dont l'effet sur l'oreille humaine est le comble de l'étrangeté ; un vrai vagabondage musical qui saisit par sa nouveauté et est tellement attrayant, qu'on l'entend avec plus de plaisir ou du moins avec plus d'étonnement que ces excentricités musicales que l'Allemagne a cherché dans ces derniers temps à importer chez nous.

D'après ce que je viens de dire, on voit qu'il est moins difficile d'énumérer et de disserter sur les difficultés qu'il y aurait à vaincre pour arriver à une imitation satisfaisante, que de décrire l'ensemble de ces sons. Aussi cette dissertation écourtée justifiera, je l'espère, aux yeux du lecteur, la prudente réserve qui m'engage à renoncer à donner une description générale des sons de la seconde subdivision.

§ 7.

Les conclusions que j'ai tirées de mes démonstrations expérimentales sur l'appareil vésico-pneumatique des Perlons expliquent sommairement quel est dans la production des sons le rôle des principales parties organiques qui entrent dans sa composition.

Dans l'intention de fournir, au physicien-physiologiste qui tenterait de donner la théorie complète du mécanisme des sons de la seconde subdivision, les notions que l'expérience m'a fait acquérir et dont il pourrait tirer parti, je vais ajouter à ces premières données principales quelques remarques sur ces données elles-mêmes et sur le jeu de quelques autres parties constitutives de ces appareils.

Observons d'abord que dans l'ensemble des organes producteurs des sons de la première subdivision, les muscles étaient indépendants de l'organe retentissant ou de renforcement, et

avaient quelque fonction étrangère à la formation des sons ; mais que dans l'appareil vésico-pneumatique les muscles ont pour unique fonction d'agir sur la vessie, soit pour la production des vibrations elles-mêmes, soit pour modifier la forme de l'organe de renforcement, ou en un mot sont propres à l'appareil.

Les différences organiques qui distinguent les appareils des *Zeus* de ceux des Dactyloptères et ces derniers des appareils des Trigles, sont assez prononcées pour qu'on ne puisse pas discuter à la fois les faits relatifs aux particularités du mécanisme de l'appareil de chacun de ces trois genres.

Les muscles intrinsèques des *Zeus* enchâssés comme ils le sont dans les entailles des parois de la vessie pneumatique et s'insérant par les deux extrémités de leurs faisceaux charnus sur l'épaisseur même de la membrane fibreuse, les ventres de ces faisceaux sont dans toute leur étendue appliqués sur la lamelle qui ferme à l'intérieur les entailles ovalaires, à laquelle ils adhèrent à peine, et sont conséquemment disposés parallèlement à cette lamelle. Quelle que soit leur action sur cette lamelle, elle doit différer de celle des muscles intrinsèques des autres appareils dont les faisceaux sont dirigés obliquement aux parois des vessies sur lesquelles ils agissent et qui leur donnent insertion.

Ce n'est pas assez de définir et d'affirmer cette différence, il faudrait pouvoir dire exactement quel effet elle produit dans le mécanisme de la création des sons. Sans arriver à ce degré d'exactitude, je puis assurer que cette différence est défavorable à la production initiale des sons du *Zeus*, comme on peut le voir d'après les notions comparatives que j'ai données plus haut sur les sons des neuf espèces pourvues d'appareils vésico-pneumatiques. Ensuite le peu d'étendue de la surface des muscles intrinsèques du *Zeus*, leur portion sur le même segment circulaire de la vessie et sur sa paroi supérieure seulement, sont autant de circonstances qui limitent leur action, ne leur permettent que de changer partiellement la forme de la vessie, et par conséquent leur ôtent les moyens de réaliser les modifications de sons qui résultent des déformations plus ou moins complètes de l'organe de renforcement.

De tout ce qui précède, il faut déduire que les appareils des *Zeus* sont, sous le rapport de leur disposition anatomique et, par suite, de leur mécanisme, inférieurs aux appareils des Dactyloptères et à ceux des Trigles.

Quoique la forme de l'appareil des Dactyloptères diffère de celle des Trigles, ces deux générateurs de sons n'en n'ont pas moins, non-seulement des parties similaires, mais encore semblablement disposées les unes par rapport aux autres, et l'on voit qu'ils ne sont que deux variétés du même type.

Les insertions des muscles intrinsèques, la direction générale de leurs faisceaux charnus, sont presque identiquement les mêmes dans les deux genres, à l'exception pourtant du muscle *extrinsèque*, qui vient donner un point d'appui plus fixe à ces muscles si puissants par leur masse et la grande surface qu'ils recouvrent sur chaque lobe.

On comprend facilement que les vibrations engendrées par une aussi grande quantité de faisceaux charnus soient plus fréquentes, plus intenses et plus longtemps soutenues que celles formées par les autres sortes d'appareils.

On doit comprendre aussi que ces puissants muscles, embrassant une si vaste surface des deux lobes, doivent changer facilement la forme de l'organe de renforcement, et par cela même modifier la partie des sons sur laquelle les variations de forme de la *table d'harmonie* ont de l'influence.

La présomption d'après laquelle on croirait que les gaz contenus dans les lobes pourraient en être expulsés brusquement et produire des sons particuliers, en pénétrant dans les cavités appendiculaires antérieures, ne me paraît pas assez probable pour que j'insiste davantage ici sur ce sujet. Je m'expliquerai à cet égard en parlant du mécanisme des sons chez les Perlons.

C'est, à n'en pas douter, dans l'appareil des Trigles que les muscles intrinsèques sont le mieux disposés pour agir efficacement sur la création et les modifications des sons.

Dans ce générateur de sons il faut, en premier lieu, tenir compte de l'étendue que ces muscles recouvrent, presque la totalité de la paroi supérieure du corps vésical, puis de la puissance

de leurs nombreux faisceaux charnus qui s'insèrent par leurs bouts inférieurs sur la partie de cette paroi, qui ne présente pas de solution de continuité, faisceaux charnus qui, agissant en masse, effectuent le plus grand nombre de vibrations sonores. Il convient ensuite de remarquer qu'un assez bon nombre d'autres faisceaux charnus viennent prendre insertion sur toute la surface supérieure de chacune des multiples et longues bandelettes qui forment le *réseau fibreux*.

Quoique ces derniers faisceaux ne paraissent que peu détachés de la masse musculaire, leur action sur chacune de ces bandelettes qui sont complétement indépendantes, parfaitement isolées les unes des autres, reste aussi isolée elle-même, et conséquemment peut être différente de celle de la masse musculaire; il s'ensuit que le jeu de ces bandelettes, de ces espèces de cordes tendineuses, peut produire des vibrations acoustiques aussi variées que le sont les formes différentes des bandelettes.

Voilà déjà deux différents modes d'action de ces muscles sur la création des sons. Ils en ont un troisième, qui consiste à donner, en raison de leur position favorable et de la direction de leurs faisceaux charnus, les formes les plus variées au corps vésical, à le pétrir en quelque sorte selon les modifications des sons que le Poisson veut produire. Ainsi, les muscles de l'appareil des Trigles mettent en jeu un ordre de vibrations qui leur est propre, et exécutent avec moins d'imperfection les deux modes d'action communs aux appareils des deux autres genres.

Sans exagérer l'importance du diaphragme vésical et de son ouverture médiane, il faut pourtant chercher s'il se trouve dans des conditions capables d'apporter des modifications importantes aux sons. S'il était doué de mouvements qui lui fussent propres, si son ouverture pouvait changer de grandeur, on pourrait croire qu'en vibrant indépendamment de la vessie, ces allées et ces venues, forçant les gaz contenus dans le corps vésical à traverser une ouverture étroite, pourraient apporter quelques modifications aux autres sons; mais ce mouvement indépendant est infirmé par mes expériences, dans lesquelles j'ai constaté que

le diaphragme vibre non par un mouvement qui lui est propre, mais qu'il est entraîné par les vibrations des parois du corps de la vessie. D'après ce fait incontestable, son jeu consiste à vibrer du même mouvement que toutes les autres parties constitutives de l'appareil : par conséquent il peut produire un accompagnement bourdonnant dans les émissions où cette modification sonore ne se fait pas entendre en son absence, ou bien augmenter l'intensité des sons bourdonnants naturellement ; mais là se borne son rôle.

On peut se demander si les gaz contenus dans la portion antérieure de la cavité du corps de la vessie, par exemple, quand ils sont poussés par les contractions des muscles intrinsèques, ne pourraient pas franchir l'ouverture du diaphragme, qu'il soit immobile ou bien en mouvement, et par suite de ce passage produire quelques changements de son ; comme on ne peut répondre ni affirmativement, ni négativement à cette demande en s'appuyant sur des faits probants, je ne les présente ici que comme un but de recherche.

J'ai promis de dire ce que je pense de la part que prennent les cavités appendiculaires antérieures des lobes vésicaux des Dactyloptères, et je n'ai ajourné de dire mon opinion à cet égard que pour la généraliser en l'étendant à l'explication du rôle de toutes les cavités qu'offrent les appendices des divers appareils des Trigles, aussi bien des vastes cavités des lobes latéraux des Perlons que de celles si petites des cônes ou *pointes antérieures* du corps vésical des Morrudes. J'ai étudié d'une manière toute spéciale les sons émis par les deux espèces que je viens de nommer, et je n'ai pas entendu un seul son formé par les Perlons qui ne le fût aussi par les Morrudes, tandis que plusieurs ordres de séries sonores engendrées par les Morrudes manquent complétement dans les sons produits par les Perlons.

Chez ces derniers, tous les sons produits ont non-seulement une grande intensité qui s'explique facilement par la différence du volume des appareils, mais encore ils ont un retentissement spécial qui fait défaut aux sons de la Morrude. J'attribue ce retentissement aux grandes cavités des lobes latéraux des Per-

lons, et pense que le même effet se produit à un degré inférieur d'intensité chez les Dactyloptères, les Grondins gris, les Rougets communs et le Grondin rouge, pour être excessivement faible ou nul chez les Morrudes.

Je terminerai ces remarques, en justifiant par un argument péremptoire le rôle prépondérant que j'ai fait jouer aux muscles intrinsèques et aux bandelettes du *réseau fibreux* dans la production des sons; cet argument est le suivant : c'est dans les espèces où les muscles intrinsèques sont le plus développés, et où en même temps les bandelettes du *réseau* ont les plus grandes dimensions et sont le plus nettement séparées les unes des autres, que les sons atteignent le plus haut degré de perfectionnement.

Dans l'intention de résumer les cinq précédents paragraphes et ce dernier, si l'on fait un examen attentif des dispositions anatomiques de tous les appareils vésico-pneumatiques et des particularités de leurs fonctions physiologiques, on est irrésistiblement conduit à cette conclusion, à savoir, que les muscles intrinsèques et extrinsèques de la vessie pneumatique, et cette vessie elle-même, sont les éléments essentiels de ces appareils, les autres parties constitutives de ces générateurs de sons ne sont qu'accessoires.

Le premier corollaire de cette conclusion est que la partie essentielle de ce mécanisme est admirablement simple.

Un second corollaire plus important que le premier est que le degré de perfectionnement qui caractérise cet appareil, envisagé d'un point de vue général, est le résultat de l'insertion des muscles intrinsèques et extrinsèques sur les parois mêmes de l'organe de renforcement. C'est en effet la fusion la plus intime qu'on puisse imaginer pour unir les muscles à la vessie, et c'est en même temps l'arrangement le plus propre à tirer le plus grand profit possible des propriétés des deux éléments de ce mécanisme.

Enfin cette conclusion et ses deux corollaires, qui tendent à distinguer plus nettement, en les spécifiant davantage, les appareils vésico-pneumatiques, des organes ou appareils ayant des fonctions similaires dans le règne animal, amènent naturellement

par une déduction corrélative à la comparaison anatomique et physiologique de nos générateurs de vibrations acoustiques avec les organes producteurs de sons de tous les autres animaux, ou à l'anatomie et la physiologie comparée des appareils vésico-pneumatiques.

Dans cet ordre d'idées, la première qui se présente à l'esprit est celle de rapprocher l'appareil vésico-pneumatique considéré d'un point de vue général, de l'appareil de la phonation examiné au même point de vue pour en faire la comparaison anatomique. Je suppose connue l'anatomie de ces deux différents appareils, et pense que le lecteur me saura gré de ne pas rappeler ici tout ce qu'il vient de lire sur l'appareil vésico-pneumatique.

Si l'on veut établir une comparaison anatomique entre ces deux appareils, elle ne fournira que des différences bien marquées et pas une analogie légitime. Les conséquences à tirer de ces seules différences ne me paraissent pas avoir un assez grand intérêt pour mériter de figurer ici.

Il reste donc la comparaison physiologique, et principalement celle des effets produits par les deux appareils ou celle des sons eux-mêmes. Je m'occuperai d'abord de la comparaison physiologique.

Ici se dressent devant moi deux grandes difficultés.

La théorie de la phonation, telle que la présentent les plus récents et les meilleurs traités de physiologie, n'est assurément que provisoire, en acceptant même les travaux de J. Müller à cet égard comme ayant réalisé un grand progrès.

Car, sans être complétement de l'avis de Savart à ce sujet, je partage sur plusieurs points l'opinion de cet éminent physicien. D'un autre côté, malgré les intéressantes recherches de M. le professeur Rouget et celles de M. Marey, la théorie de la contraction musculaire est à peine ébauchée, et celle enfin des sons de la première et de la seconde subdivision de notre division principale n'en est encore qu'à ses premiers linéaments. C'est pourtant avec de pareilles données qu'il faut procéder à la comparaison dont il s'agit ici.

J'établis d'abord qu'on ne peut douter que les muscles intrin-

sèques des appareils vésico-pneumatiques ne soient animés en temps voulu de mouvements vibratoires, insérés par l'un de leurs bouts sur l'organe de renforcement; quel que soit le mode de leurs vibrations, on ne peut nier non plus que, par leur position et leur mode d'action, ils ne soient assimilables aux tiges métalliques du violon si connu en physique expérimentale sous le nom de *violon de fer*, ou aux clous nommés chevilles, qui sont enfoncés dans les parois de la table d'harmonie d'un piano et autour desquels sont enroulées les cordes de cet instrument.

C'est donc à la vibration de simples tiges de fer attachées à un point fixe que pourrait être comparé avec le plus de vraisemblance le jeu des muscles intrinsèques.

En acceptant sans critique la théorie de J. Müller, qui est maintenant généralement admise, le mécanisme de la phonation est comparable à celui de deux couches membraneuses que représentent les cordes vocales, et c'est évidemment le jeu de l'anche qui fait les principaux frais de l'explication.

A mon point de vue, je n'ai pas à discuter cette théorie, je l'accepte en attendant mieux, et j'en profite pour faire voir la différence essentielle qui existe entre les mécanismes de ces deux appareils organiques, différence rendue plus sensible par l'assimilation de ces appareils à des instruments inorganiques.

La seule analogie que l'on puisse trouver consiste en ce que, dans l'un et dans l'autre appareil, c'est le tissu musculaire qui, dans des conditions différentes à la vérité, engendre la vibration ou a une grande influence sur ce mouvement vibratoire. Non seulement c'est ce tissu qui fait mouvoir toutes les pièces organiques mobiles du larynx les unes sur les autres, qui, s'étendant dans les cavités ventriculaires, en modifient la forme, mais encore il compose la majeure partie des cordes vocales ou lèvres glottiques.

Les muscles thyro-aryténoïdiens sont, dans la constitution de ces cordes, revêtus d'une membrane muqueuse dont le bord interne joue un certain rôle dans le jeu de ces anches membraneuses que le courant d'air fait vibrer; mais il ne faut pas oublier que les faisceaux charnus des muscles qui doublent cette

muqueuse donnent aux cordes vocales, à la volonté de l'animal et suivant différentes circonstances, une forme, une tension, une épaisseur, une élasticité, etc., etc., qui n'ont pas une moindre action sur la vibration de ces cordes, et par suite sur la production des sons.

Dans l'appareil vésico-pneumatique, la contraction des muscles suffit pour exciter les vibrations qui sont transmises directement par les extrémités inférieures de ces muscles à l'organe de renforcement.

Cette analogie est la seule rationnelle et ne doit pas être négligée ou méconnue; elle aurait une tout autre importance si je pouvais, sans m'écarter trop de mon sujet, entrer ici dans des développements nécessaires à établir de nouvelles et profondes modifications dans la théorie de la phonation. Ce sera l'objet d'un mémoire que j'espère pouvoir publier prochainement.

Les deux comparaisons précédentes, on le voit, ne présentent pas de résultats très-intéressants; voyons si le parallèle des effets produits, des sons eux-mêmes, nous sera d'un meilleur secours.

On comprend facilement que ce n'est qu'avec la voix des Reptiles et Batraciens, celle d'un petit nombre d'Oiseaux et les cris de quelques Mammifères, qu'on a quelques chances de pouvoir établir le parallèle dont il s'agit ici.

Tout d'abord ce parallèle offre plusieurs difficultés, dont je vais indiquer les deux principales pour donner une idée de leur importance.

Les plus savants erpétologistes avouent qu'ils manquent complétement de notions sur la voix du plus grand nombre des Amphibiens et des Reptiles; que le peu qui a été écrit sur ce sujet est incertain, comme la plupart des assertions qui ne s'appuient que sur des traditions orales ou le dire si souvent exagéré des voyageurs en général; et qu'enfin la voix de ces animaux n'a encore été l'objet d'aucune recherche scientifique proprement dite, si ce n'est celle de quelques espèces les plus communes des genres Grenouille, Crapaud et Pipa, et qu'on n'a

même que des données vagues sur les cris des autres espèces de ces genres.

L'oreille humaine, constituée dans le but d'apprécier les sons émis dans l'air, ne nous trompe guère quand elle nous sert à juger des sons formés dans l'atmosphère et qui nous sont transmis par ce milieu; mais notre ouïe n'est plus un juge aussi compétent, aussi infaillible, quand nous avons à nous rendre compte des sons engendrés dans d'autres milieux, dans un milieu aqueux, comme c'est ici le cas. Bien des qualités de ces sons, qui ont pour principal but d'être transmis par des ondulations aqueuses à des animaux dont les organes auditifs sont bien différents des nôtres, nous échappent ou ne nous parviennent que considérablement modifiées.

Si nous devons nous en rapporter aux expériences déjà anciennes de l'abbé Nolet (1), de Franklin, d'Alexandre Monro, et surtout aux observations plus récentes de Colladon et Sturm (2), de Beudant (3) et de G. Weber, sur les qualités des sons, qui varient lorsqu'ils sont alternativement entendus dans l'air et dans l'eau, il y aurait de très-grandes différences. Les plus marquées, suivant ces auteurs, seraient celles qui portent sur l'intensité et l'éclat des sons. En présence de telles difficultés, je renonce à un parallèle de l'ensemble de la voix des Reptiles, Batraciens et autres animaux que je viens de nommer, avec les sons que j'ai classés dans la première et la seconde subdivision de ma nomenclature, pour m'en tenir à celui de quelques-unes des principales propriétés de tous ces sons; ou, pour m'expliquer plus catégoriquement, je renonce à une comparaison exacte, impossible, suivant moi, dans l'état actuel de nos connaissances, sur un pareil sujet, pour me contenter de données comparatives seulement approximatives, les seules qui puissent avoir quelque valeur scientifique. Ainsi, dans le parallèle qui va suivre, je ne tiendrai

(1) Voy. *Mémoire sur l'ouïe des Poissons* (*Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, 1743, p. 260).

(2) Voy. *Mémoire sur la compression des liquides* par MM. Colladon et Sturm, de Genève (*Ann. de chim. et phys.*, 1re série, t. XXXVI, p. 113, et la suite, p. 225).

(3) Voy. expériences de Beudant, citées dans le mémoire de MM. Colladon et Sturm.

aucun compte de l'intensité et de l'éclat des sons, et je ne rapprocherai que les propriétés des vibrations sonores qui sont incontestablement comparables.

Si donc on met en parallèle :

D'une part, les principales qualités des manifestations sonores émises par les Morrudes et les Rougets camards, qualités qui sont les suivantes : leur diapason embrassant plus d'une quinte de sons indubitablement commensurables; d'autres sons incommensurables, mais bien distincts les uns des autres ; les variations de ces sons ou leurs combinaisons diversifiées ; les longues séries de sons de tons différents et d'autres séries de sons où la fréquence des changements de tons le dispute à la mutabilité presque incessante des modificateurs du timbre.

Et d'autre part, la voix la plus parfaite des Reptiles et Amphibiens connue jusqu'à ce jour, celle de certains Oiseaux, tels que le Friquet (*Fringilla, montana*, Linn.), l'Hirondelle des cheminées (*Hirundo rustica*, Linn.), et plusieurs Gallinacés, ou même les cris de quelques Rongeurs et Ruminants: par exemple le Mulot, la Souris, le Mouton.

Que l'on consente à prendre en considération le nombre et la nature de toutes les qualités attribuées dans le précédent parallèle aux sons que rend l'appareil vésico-pneumatique, ou bien qu'on veuille n'avoir égard qu'à une seule de ces qualités, on conviendra avec moi qu'un instrument physiologique dont le diapason comprend toute *une sixte* a une valeur acoustique ou biologique supérieure à celle des appareils de phonation des autres Vertébrés que je viens de nommer.

CHAPITRE III.

§ 1.

Suite et fin de la nomenclature des sons.

Jusqu'ici nous n'avons rencontré dans la seconde section que des sons produits par la vibration de muscles groupés autour de

la vessie pneumatique ou bien en position d'ébranler cet organe, et situés en tout ou en partie dans la cavité abdominale.

Dans le présent chapitre, je range les sons engendrés par des muscles dont le siége est tout différent.

Ils sont disposés autour des cavités buccales et respiratoires, et ce sont ces cavités qui renforcent toutes les vibrations sonores qu'ils forment ; enfin ils sont placés tous sous le crâne, dans les parois inférieures des cavités sus-mentionnées, et appartiennent presque tous au système hyoïdien (Milne Edwards) : ce sont donc des muscles respiratoires.

Sous-section de la seconde section.

Des bruits expressifs instantanés, méritant le nom de *cris*, plus fréquents que les sons commensurables.

Première division.

Sons produits par des muscles dépendants presque tous de l'appareil respiratoire et renforcés par la cavité buccale.

Des sons de la première division. Caractères physiologiques. — Ces sons, engendrés par des muscles pour la plupart respiratoires, sont amplifiés par les cavités buccales et respiratoires ; ils sont volontaires.

Caractères acoustiques.— Ces vibrations sonores ont une douceur, un velouté des plus notables. Elles sont en général très-courtes, ont quelquefois l'instantanéité d'une explosion, et beaucoup d'entre elles sont assimilables aux cris de certains Batraciens. Les sons commensurables soutenus ne font pas défaut, mais ils sont moins communs que les cris.

Au nombre des Poissons qui rendent des sons de cette division se trouvent deux espèces européennes du genre *Cottus* de Linné et Cuvier, ou Chaboisseaux de mer (Cuvier).

Les Chaboisseaux de mer sont des Poissons de petite taille ; ils ont un aspect hideux : leur grosse tête, dont une grande portion se dilate encore au gré de l'animal, se montre hérissée de nombreux piquants ; les repoussantes mucosités dont leur peau

mollasse est couverte, leur couleur d'une teinte sombre en général : les douloureuses piqûres qu'infligent leurs pointes acérées ; l'ébranlement qu'ils communiquent à la main hésitante qui les saisit, la surprise que causent les cris qu'ils jettent, tout en fait un objet de dégoût et de peur irréfléchie qu'expriment bien les noms de Diables de mer, de Scorpions de mer, de Crapauds de mer, par lesquels les pêcheurs, les gens du monde et quelques savants les ont désignés.

Mes observations ont eu pour sujets des individus de deux espèces admises par Cuvier : le Chaboisseau commun ou *à courtes épines* (*Cottus Scorpius* Bloch), bien représenté par Klein, et le Chaboisseau *à longues épines* (*Cottus Bubalus* Euphaasen).

On lit dans tous les traités d'ichthyologie que ces Chaboisseaux de mer sont de petits Poissons qui jettent un cri quand on les prend tout à coup et lorsqu'on les presse entre les doigts. Là se bornent les renseignements connus jusqu'ici sur les sons qu'émettent ces Acanthoptérygiens.

Considérations anatomiques. — De courtes indications anatomiques suffiront pour appeler l'attention sur les points qui peuvent nous intéresser dans l'organisation de ces Poissons.

Le développement des pièces osseuses et cartilagineuses qui composent les appareils hyoïdien (Milne Edwards) et operculaire, et surtout la grande quantité et la force des faisceaux charnus des muscles qui mettent ces pièces en mouvement, doivent faire remarquer ces agents actifs du mouvement. Plusieurs portions de ces muscles ne sont séparées de la cavité buccale que par une muqueuse peu épaisse. Les muscles du corps de l'hyoïde, de la partie inférieure des branchies, ainsi que ceux qui se fixent aux os œsophagiens inférieurs, méritent une attention particulière, aussi bien que l'ouverture de l'œsophage, à raison des énormes plis que sa membrane muqueuse forme autour de son entrée, au fond de la bouche, plis qui, en réalité, constituent des saillies comparables à de petites lèvres.

Quand on tire de l'eau un *Cottus*, il éloigne aussitôt es unes des autres, et autant qu'elles sont susceptibles d'être distantes,

les différentes pièces osseuses et cartilagineuses qui forment la plus grande partie de sa tête, et maintient les bords des membranes branchiostéges légèrement écartées du pourtour des ouvertures branchiales.

C'est après cette dilatation, la plupart du temps, qu'en rapprochant et en serrant ses lèvres, le Poisson commence à faire entendre les sons qu'il est capable de produire.

Quand il a cessé d'en émettre spontanément, les pêcheurs savent bien qu'il ne s'agit que d'appuyer légèrement, mais instantanément, sur les parois buccales, pour qu'un bruit semblable au cri qu'ils jettent se manifeste et se répète chaque fois qu'on opérera une semblable pression; mais au bout de quelques secondes, ce moyen devient impuissant à provoquer la moindre vibration. Cette petite manœuvre, interprétée à la légère, a induit en erreur plusieurs naturalistes, comme je le dirai bientôt.

Ce n'est pas dans l'atmosphère seulement que les *Cottus* produisent des sons; j'ai reconnu qu'ils en émettent bien plus fréquemment encore sous l'eau. J'ai observé aussi que l'écartement des différentes parties de la tête du Poisson n'est pas indispensable à la production des sons; j'ai maintenu rapprochées toutes les pièces de la tête, et j'ai constaté que, dans l'air comme dans l'eau, les sons peuvent être engendrés; seulement, dans ce dernier cas, comme on peut aisément le prévoir, ils ne parviennent à notre oreille, qui est éloignée du milieu aqueux, qu'affaiblis et sourds.

Comme introduction à la recherche de la cause des sons qu'émettent les Chaboisseaux de mer, je répondrai à une demande qui m'a été adressée par quelques curieux témoins des résultats de la manœuvre au moyen de laquelle les pêcheurs excitent le Poisson à renouveler ses cris; ils m'ont interrogé pour savoir si une certaine quantité d'air, avalée préalablement par le Poisson, puis vigoureusement poussée au dehors, pourrait, en traversant la bouche, en faire vibrer quelques parties et occasionner ainsi ce bruit.

Considérant : 1° que l'objet de cette interrogation, cette suppo-

sition est la première qui se présente à l'esprit, et que plusieurs naturalistes en ont été tellement épris, qu'ils ont imaginé que ce sont les gaz accumulés dans le tube intestinal qui, en sortant ensuite violemment chassés par la contraction des cavités digestives, viennent ébranler les gros replis œsophagiens, les faire vibrer, ainsi que d'autres parties de l'intérieur de la bouche, et produisent ainsi le bruit que rendent les Crapauds de mer;

2° Que cette conjecture spécieuse pourrait séduire quelques observateurs superficiels, et faire formuler, à l'encontre de mon opinion, des objections auxquelles je devrais répondre, je préfère aller au-devant de ces contradictions en démontrant toute leur gratuité au moyen d'une expérience de facile exécution.

Elle consiste à ouvrir la bouche du Chaboisseau en train de bruire, pour enfoncer dans son œsophage une pince à disséquer dont les branches sont maintenues rapprochées et dirigées de façon que chacune d'elles soit en contact avec l'une des parties latérales de ce conduit, et d'abandonner ces branches à leur élasticité. En s'écartant l'une de l'autre, elles élargiront avec énergie les parois de l'œsophage dans le sens transversal, et maintiendront ces parois assez éloignées pour que l'air qui passerait à travers ce canal n'en puisse ébranler aucune portion; de plus, elles exerceront une compression sur plusieurs points des gros plis de la membrane muqueuse, écartés les uns des autres et rendus ainsi incapables de vibrer sous l'influence d'un courant de gaz. Dans les nouvelles conditions où se trouveront l'œsophage et plusieurs autres parties de la bouche, le Poisson continuera, à bruire et l'on ne pourra observer aucune modification importante dans les sons qu'il émettra. Si l'on veut bien remarquer que les conjectures dont je veux prouver la fausseté ne s'appuient que sur l'existence d'un courant gazeux provenant de l'estomac et mettant en vibration quelque portion des parois des cavités qu'il parcourt avant d'arriver en dehors de la bouche, on conclura comme moi que les gaz contenus dans le tube digestif restent complétement étrangers à la formation des vibrations sonores que font entendre les Chaboisseaux marins.

Désormais débarrassés de ces suppositions spécieuses, arrivons à la détermination du principe des phénomènes acoustiques que forment les Scorpions de mer.

Pour parvenir à cette fin, j'ai employé le même mode d'investigation que j'ai mis tant de fois en usage et décrit avec détail dans le cours de ce travail; aussi je ne ferai ici que mentionner les moyens d'observation qui m'ont servi dans cette recherche.

J'ai tenu quelques instants dans ma main un *Cottus* bien vivant, plein de vigueur et très-bruyant; j'ai tout aussitôt ressenti durant chaque émission sonore un frémissement. J'ai comparé, sous le rapport de leur durée, de leur intensité et de leurs moindres modifications, la sensation tactile et auditive que j'éprouvais simultanément. J'ai exploré ensuite alternativement les différentes régions du corps du sujet pour déterminer exactement le lieu où le frémissement qu'il communiquait à ma main était le plus intense. L'expérience que j'ai acquise relativement à l'ensemble des impressions que je venais de percevoir ne pouvait me laisser aucun doute sur la cause des vibrations sonores qu'émettait le Poisson, car des impressions identiques à celles que je viens de décrire et des déductions exactement semblables à la conséquence suivante ont été l'objet de si nombreuses vérifications démonstratives (voy. le chapitre I[er] de la seconde partie, et plusieurs autres énoncés et vivisections dans la seconde et la troisième partie de ce mémoire), que leurs résultats concordants m'autorisent à déclarer que la cause des phénomènes acoustiques que font entendre les *Cottus* ne peut être autre que la contraction vibratoire de quelques-uns de leurs muscles.

Du reste, si quelque juge difficile n'était pas satisfait de cette déclaration concluante, il serait assurément amené à l'approuver en voulant bien prendre en considération l'exposé des investigations qui va suivre; quoiqu'elles ne portent que sur des faits de détail, leurs résultats se corroborent mutuellement et s'accordent si bien entre eux, que ce sont comme autant de faibles rayons lumineux qui, bien dirigés, éclairent un corps,

au foyer de leur convergence, d'une lumière si parfaite, qu'aucun de ses points ne reste dans l'ombre.

S'il ne m'a pas fallu me mettre en frais de nouvelles observations pour découvrir le principe des vibrations sonores dont il vient d'être question, il n'en a plus été de même dans mes recherches relatives au siége et aux différents centres de ces mouvements vibratoires.

Voici comment j'ai procédé à cette recherche.

Suivant les indices que m'avait fournis la précédente expérience, j'ai, sur un sujet plein de vigueur et émettant incessamment des cris, séparé le maxillaire inférieur de toutes ses attaches musculaires et membraneuses antérieures, au moyen d'une coupe rasant la surface interne de cet os. La rétraction de la masse des muscles composant la paroi inférieure de la bouche, qui a eu lieu aussitôt, a rendu cette cavité accessible à l'entrée de mon doigt, sans avoir à craindre le contact des cardes dentaires, et j'ai eu ainsi sous les yeux toutes les parties internes du vestibule des voies digestives. J'ai pu alors facilement, en prenant entre deux doigts le lambeau charnu qui fermait le plancher de la bouche, palper tous les points de ces deux surfaces. Chaque fois que le Poisson a bruit, mes doigts ont ressenti un frémissement dont l'origine venait évidemment de la portion médiane du lambeau, et était perçu à travers une couche de muscles plus ou moins épaisse en avant vers le centre du plancher, en arrière sur deux points distants l'un de l'autre et latéraux. J'en ai induit qu'il y a plusieurs foyers de mouvements ou centres de mouvements qui se trouvent au milieu du plancher de la bouche, à l'exception du plus antérieur que j'ai senti être sous la muqueuse qui recouvre le repli lingual ou cette proéminence qui, chez les Poissons, tient lieu de langue.

En explorant ensuite successivement toutes les parois de la bouche, j'ai remarqué que la membrane branchiostége est celle qui vibre avec le plus d'intensité, et il n'est pas douteux qu'étant la paroi la plus mince de la cavité buccale, le moindre ébranlement de l'air intérieur doit puissamment agir sur elle, auss

bien que la moindre impression communiquée à ses rayons par les principales pièces de l'os hyoïde (Cuvier).

Je connaissais très-exactement l'anatomie des muscles formant le plancher buccal; je n'ai eu qu'à répéter un grand nombre de fois les mêmes observations, pour parvenir à nettement distinguer les différentes sensations tactiles que me faisaient éprouver les divers et principaux muscles qui composent cette masse charnue.

Du résultat des investigations précédentes je me crois en droit de déduire d'abord :

1° Que les foyers de vibration des sons qu'émettent les Chaboisseaux sont multiples;

2° Que ces foyers sont situés dans les muscles de la paroi inférieure de la bouche;

3° Qu'ils ont leur siége dans les principaux muscles de l'appareil hyoïdien (Milne Edwards).

Pour vérifier ces premières données, j'ai fait des coupes méthodiques des muscles de l'appareil que je viens de nommer.

Quoique je me sois mis bien en garde contre l'erreur que je pouvais commettre en coupant un muscle impropre à produire des sons, mais destiné à être l'antagoniste d'un autre doué de vibration musculaire dont la tension, le point d'appui venant à manquer par suite de cette section, resterait momentanément ou à tout jamais dépourvu de la faculté vibratoire, et d'en conclure à tort que le premier est capable de former des vibrations sonores. Comme tant d'autres investigateurs qui n'ont pu éviter de commettre quelques erreurs en étudiant une partie de la synergie musculaire, je ne puis prétendre n'avoir pas fait d'omissions ou commis quelque méprise dans les investigations que j'ai faites à ce sujet.

Ce n'est donc qu'à titre de premières données expérimentales, ne devant être admises qu'à la suite de nouvelles recherches, que je désignerai comme producteurs des vibrations sonores qu'engendrent les *Cottus*, les muscles dont voici les insertions ou le nom.

Les muscles qui s'insèrent aux principales pièces osseuses de

l'hyoïde; ceux de la membrane branchiostége qui se fixent aussi aux pièces que je viens de nommer et entourent les extrémités de la base des rayons branchiostéges; ceux que Cuvier n'a désignés que par les n°s 35, 36 et 37, qui s'attachent aux os pharyngiens inférieurs qui sont réellement des rétracteurs et des transverses de ces os, ainsi que le transverse commun de ces deux os, et enfin les huit transverses inférieurs des arceaux des branchies.

J'ai de plus fait usage des courants voltaïques, et, quoique je n'aie eu à ma disposition que d'anciennes, et du modèle primitif, petites chaînes hydro-électriques de Pulvermacher, j'ai constaté des faits dignes d'attention.

J'ai placé un des pôles de la chaîne sur la peau correspondant au commencement de la moelle épinière d'un *Cottus* qui était près de mourir, et en touchant avec l'autre pôle quelques points de la queue du sujet, j'ai excité des secousses contractiles dans presque tous les muscles compris entre les extrémités des conducteurs, et, à chacune des secousses, un son provenant de l'isthme interoperculaire, ci-dessus désigné, était produit. Ce seul fait suffirait à prouver que c'est bien réellement la contraction musculaire qui est la cause des effets de sonorité que forment les Chaboisseaux, parce que l'irritabilité des muscles étant l'élément physiologique le plus sensible à l'action des courants électriques continus, en la présente circonstance ce sont des courants de cette nature qui engendrent des sons émanant des masses musculaires qui en forment à l'état normal.

Je ferai remarquer en passant que le résultat de cette expérience vient à l'appui de l'opinion des physiologistes qui distinguent dans la contraction des muscles la secousse contractile de la contraction proprement dite, et qui pensent que la première est la seule qui soit bruyante.

J'ai ensuite, sur des sujets mourants, découvert le cerveau d'un trait de scie d'horloger qui ne communiquait aucun ébranlement aux centres nerveux, et appuyant un des conducteurs sur le commencement de la moelle allongée, près de l'origine des nerfs de la huitième paire, et l'autre conducteur en contact avec la

face inférieure de la paroi inférieure de la bouche, j'ai excité ainsi des manifestations sonores bien plus intenses que celles que j'avais provoquées précédemment.

Il m'a paru superflu de poursuivre la recherche des agents producteurs de sons jusque dans les moindres faisceaux musculaires; c'eût été, à mon avis, entrer dans des détails méticuleux, sans rien ajouter au faisceau de preuves convaincantes que présentent les expériences démonstratives précédentes, qui peuvent, en raison de l'évidence des inductions qu'on en doit tirer, se passer de toute discussion ou commentaires.

De l'ensemble des recherches expérimentales que je viens d'exposer, je crois devoir conclure :

1° Que le principe des sons que font entendre les *Cottus Scorpius* et *Bubalus* (Lire, Cuvier et Valenciennes) est la vibration musculaire ou trémulation ;

2° Que les principaux muscles qui, par leur contraction, engendrent ces vibrations sonores, font partie des régions inférieures des appareils : hyoïdien (Milne Edwards et divers auteurs), branchial et pharyngien (Cuvier);

3° Que ces muscles étant soumis à la volonté du Poisson, les sons auxquels ils donnent naissance sont nécessairement volontaires;

4° Que les cavités buccales et respiratoires dilatées deviennent capables de renforcer toutes ces vibrations sonores, comme le fait une table d'harmonie dans un instrument de musique;

5° Que le siége des mouvements vibratoires soulève des questions d'anatomie philosophique du plus haut intérêt.

Sur les sons eux-mêmes. — Je n'ai donné jusqu'à présent que les caractères distinctifs des phénomènes acoustiques qu'émettent les deux espèces de Chaboisseaux de mer qui sont le sujet de ce chapitre; j'y reviens pour les étudier plus complétement.

Quand nous prononçons à demi-voix les diphthongues : *ou! vous! ous!* comme sons consonnes brefs, nous formons des sons qui ont une grande analogie avec les cris les plus communs des Chaboisseaux marins. Ces bruits sont si instantanés, qu'on n'en

peut saisir le ton. Ils sont émis à des intervalles irréguliers, avec une intensité et des variations de timbre aussi irréguliers; mais ce qu'ils ont de remarquable, c'est la ressemblance, vraiment saisissante, qu'ils ont avec les cris de plusieurs Batraciens : on croirait entendre ceux, par exemple, de l'*Alytes obstetricans* (voyez *Histoire naturelle des Reptiles*, Duméril et Bibron). Cette similitude est telle, qu'elle m'a engagé à donner le nom de *cris* à ces manifestations sonores pour les distinguer de toutes les sortes de bruits expressifs que font entendre les Poissons. Mais ces sons peuvent être prolongés, devenir continus, et être alors mieux étudiés. En se prolongeant, ils conservent la plupart de leurs qualités. On distingue très-nettement qu'ils sont analogues à ceux d'une anche métallique ou membraneuse. La tenue la plus prolongée de ces sons m'a paru être comprise entre 15 et 22 secondes. J'ai cherché l'unisson de plusieurs de ceux que j'ai entendus, et j'ai reconnu en eux des *ut*$_3$ et des *ré*$_3$. Leur diapason m'a semblé peu étendu. Il n'a guère, quand le sujet est à l'état normal et dans les circonstances où je l'ai étudié, plus de trois ou quatre notes. Mais durant les convulsions de l'agonie, le Chaboisseau rend des séries de sons moins longues, mais analogues à celles que font entendre les Trigles, privilégiés sous le rapport de la faculté productrice de sons ; ces vibrations sonores émises dans l'atmosphère sont aisément perçues à la distance de 2 à 3 mètres. Du reste, en écoutant avec soin ces sons prolongés, on acquiert la conviction que chaque son n'est formé que d'une seule émission sonore, sans interruption, ni reprise. Ce n'est que dans les sons continus que l'on peut mieux apprécier les vrais changements successifs de timbre ; mais ils sont peu fréquents.

Dans les localités où j'ai trouvé l'occasion d'étudier les sons produits par les Chaboisseaux, les individus de l'espèce à longues épines étaient rares. Sur le petit nombre de *Cottus Bubalus* que j'ai examinés, j'ai constaté que les sons qu'ils rendent diffèrent peu des manifestations acoustiques que je viens de décrire. Ils sont seulement plus intenses en général, et les bourdonnements y sont beaucoup plus fréquents. Toutefois, des divers bruits qu'engendrent ces animaux, les bourdonnements sont ceux qu'ils

peuvent encore former en toutes saisons, et lors même qu'ils ont séjourné dans les bacs d'un aquarium.

A Paris, dans le mois de novembre, j'ai dû à l'obligeance de M. Albert Geoffroy Saint-Hilaire de pouvoir constater de semblables faits.

Ce serait sortir des bornes que j'ai posées à ce travail que de discuter ici toutes les questions que soulèvent les faits dont l'énoncé est contenu dans ce chapitre ; mais deux d'entre elles offrent tant d'intérêt dans leur moindre détail, que je me décide à en dire quelques mots, seulement pour indiquer et montrer qu'elles n'ont pas échappé à mes spéculations.

Parmi les organes de la bouche que les muscles producteurs de sons mettent en vibration, ceux qui font partie du système hyoïdien éveillent une attention spéciale, en reconnaissant que les deux pièces osseuses antérieures et inférieures de l'os hyoïde, les petits osselets articulaires de la symphyse de ces pièces, et le corps de l'os hyoïde ou osselet marqué n° 53 (voyez Cuvier et Valenciennes, 1er volume, OSTÉOLOGIE, *Histoire naturelle des Poissons*), ou bien encore les portions inférieures des *cérato-hyaux*, les *hypo-hyaux* et le *basy-hyal* du premier segment hyoïdien (Milne Edwards), sont les parties de la bouche qui exécutent les plus énergiques frémissements, et que c'est l'assemblage de ces pièces ostéo-cartilagineuses qui, recouvert de téguments muqueux, constitue la proéminence ou partie proéminente du gros repli situé vers le milieu de la bouche, et qui chez les *Cottus* tient lieu de langue, comme chez les autres Poissons ; que ce gros repli, par la large surface qu'il présente, contribue puissamment aux modifications des manifestations sonores.

En présence de pareils faits, on ne saurait nier l'homologie, j'allais dire l'identité des organes qui modifient les sons chez certains Vertébrés de la cinquième et chez ceux des autres classes du même embranchement.

Comment s'effectue l'accommodement des cavités buccale et respiratoire à une fonction identique, au point de vue mécanique, avec le retentissement que produit une table d'harmonie

dans un instrument de musique, est encore une question pleine d'intérêt.

En descendant dans ces détails, l'intérêt ne fait que s'accroître.

Pour obtenir cet accordement, on doit remarquer que la tête, démesurément grosse en comparaison du corps, se dilate principalement dans sa région moyenne en telle proportion, qu'elle acquiert un huitième, si ce n'est un quart en sus de sa capacité primitive, et que cette modification a d'abord pour effet de diminuer l'épaisseur des parois buccales, et de les rendre plus propres à vibrer par suite de cet amincissement, aussi bien qu'en raison de la tension dans laquelle elle les contient ; que l'animal rapproche ses mâchoires et ses lèvres, clôt ainsi l'orifice antérieur de la bouche, et que l'une des conséquences de ce fait est de donner un point fixe à tous les muscles et aux membranes environnantes, et de permettre à ces organes d'entrer dans un état de tension nécessaire à la vibration que les muscles ont mission d'exécuter, et aux membranes pour vibrer à l'unisson.

Que, du reste, l'occlusion de la partie antérieure de la bouche favorise encore le retentissement, en formant dans la cavité buccale une petite chambre antérieure, dans laquelle le son ne peut prendre qu'une nouvelle intensité.

Que le sujet maintient aussi le bord de la membrane branchiostége légèrement écarté du pourtour des ouvertures des ouïes, et que cet écartement fait office des fentes ménagées dans les tables d'harmonie pour la libre communication de l'air extérieur avec l'air contenu dans ces tables, communication au moyen de laquelle « les sons sortent mieux », comme l'a prouvé Savard en construisant le modèle d'une caisse de violon.

Il est certainement d'un vif intérêt de voir que les cavités buccale et respiratoire des *Cottus* deviennent, au moyen de légères modifications, propres à former une table d'harmonie aussi complète, et conséquemment à exercer, comme elles exercent en effet, des fonctions identiques à celles dévolues aux cavités buccales et thoraciques des trois premières classes des Vertébrés, chez lesquels la première cavité fait office de porte-voix, et la seconde de caisse retentissante, et sont, sous ce rapport, des appa-

reils organiques de renforcement des sons produits par ces animaux.

Nous retrouvons là une application de cette loi d'économie, d'après laquelle la nature semble épuiser toutes les modifications possibles d'un organe pour l'employer à diverses fonctions, avant de se mettre en frais de créer un nouvel organe.

CHAPITRE IV.

§ 1.

Considérations générales.

Dans l'état actuel de nos connaissances scientifiques, il est impossible de se former une opinion tant soit peu exacte sur la répartition des fonctions de la production des phénomènes acoustiques accordées par la nature aux animaux en général et aux Vertébrés en particulier.

Le premier obstacle qui s'oppose à la réalisation de cette spéculation est le petit nombre de documents vraiment scientifiques, suffisamment dignes de confiance, que nous avons sur la voix des Reptiles et des Batraciens.

La voix des Mammifères, celle des Oiseaux domestiques ou celle des animaux de ces deux classes qui peuvent vivre en captivité, nous sont encore assez bien connues: mais arrivé à la voix des Reptiles et Amphibiens, il faut nous contenter des cris de quelques Batraciens pour tout terme de comparaison, après lesquels se présente une lacune qui s'étend jusqu'à certains Insectes orthoptères, coléoptères et hyménoptères. C'est là le second et le plus grand obstacle qui a jusqu'à présent entravé toute généralisation de l'opinion dont il est question.

La plupart des traités de physiologie ne mentionnent même pas les bruits et les sons que font entendre les Poissons, et les deux seuls ouvrages qui en indiquent quelques-uns ne peuvent affirmer que leur existence soit authentique, et que ces animaux puissent les produire dans le milieu où ils vivent.

Les auteurs de ces ouvrages critiquent du reste les explications qui ont été données sur le mécanisme de ces sons, n'en proposent qu'une seule aussi problématique que toutes celles de leurs devanciers, et en définitive ils restent trop loin de la vérité pour démontrer quelles sont les relations acoustiques qui peuvent s'établir entre les Poissons de même espèce : ils ne font que les entrevoir ou plutôt les supposer.

Il est à remarquer que les auteurs de ces traités ne manquent pas d'entrer dans de grands développements sur les bruits que font entendre les Insectes, bruits qu'ils considèrent comme étant l'apanage des animaux doués de la faculté de produire des bruits qui sont l'expression de leur instinct de reproduction, et ne font aucune mention de l'intérêt qu'il y a à combler la lacune qu'ils passent avec une blâmable indifférence. Leur dédain à cet égard surexcita en moi une bien vive attention.

Au lieu d'énumérer ici les nombreux motifs rationnels et les spéculations ayant moins de consistance qui m'engagèrent à m'occuper des phénomènes acoustiques qu'émettent les Poissons, je préfère rappeler les différentes découvertes que renfermait cette lacune scientifique, dont le comblement, aux yeux de certains auteurs, ne devait pas être compté au nombre des *desiderata* de la science, mais que des naturalistes du plus haut mérite, tels que Cuvier, J. Müller et Dugès, désiraient voir combler au plus tôt.

Toutefois je n'exposerai le précis de ces faits qu'après avoir présenté quelques réflexions préliminaires.

En réfléchissant aux besoins instinctifs, et par suite aux mœurs du grand nombre des Poissons, on est tout d'abord conduit à admettre que, de tous les Vertébrés, ce sont ceux chez lesquels la nécessité de relations d'individu à individu est réduite à ses moindres termes. Le Poisson, en général, vit dans un isolement complet, et n'a guère d'instinct plus développé que celui de la destruction pour se nourrir de proies vivantes.

Il n'a pas même besoin, pour satisfaire à l'instinct de reproduction, d'avoir aucun rapport avec un individu d'un sexe différent du sien, puisque la femelle peut pondre ses œufs loin du

mâle, et que celui-ci n'a besoin que de rencontrer ses œufs abandonnés pour être excité à les arroser de sa semence. Ainsi donc les relations même entre les mâles et les femelles, qui sont si multipliées, et qui ont une si grande influence sur une grande partie de la vie de l'animal dans la plupart des êtres des quatre premières classes de Vertébrés, perdent une grande partie de leur importance chez les Poissons.

Les résultats de ces réflexions tendent à expliquer, en partie du moins, pourquoi ce n'est pas, comme chez les autres Vertébrés, la généralité des Poissons qui sont doués de facultés productrices de sons, que ce ne sont pas des groupes nombreux, des ordres, des familles entières qui jouissent de ces facultés, mais seulement des genres, et encore en est-il où toutes les espèces ne sont pas bruyantes.

On connaissait jusqu'à présent quarante-six espèces de Poissons capables d'émettre des sons. Si j'ajoute à ce nombre les six espèces que j'ai découvertes, savoir : *Trachurus* (première subdivision de Valenciennes, *Histoire naturelle des Poissons*), *Peristidion cataphractus*, Lac., *Hippocampus brevirostris*, Cuv., *Cyprinus Dobula*, Linn., *Umbrina cirrosa*, Cuv. et Val., *Sparus macrophthalmus*, Bloch, je compterai cinquante-deux espèces seulement pouvant produire des phénomènes acoustiques.

En comparant ce petit nombre d'espèces à la totalité de celles des Poissons, qui s'élève à plus de 3000 (1), ou mieux encore en rapprochant de la somme des espèces qui sont comprises dans les quatre autres classes de Vertébrés (Oiseaux, 7000 (2), Mammifères, 1700 (3), Reptiles, 1000 (4), Batraciens ou Amphibiens, 200 (5), espèces vivantes), ce qui forme un nombre

(1) Voy. Cuvier et Valenciennes, *Histoire naturelle des Poissons*, les tables des espèces, dernier volume.

(2) Voy. Milne Edwards, *Introduction à la zoologie générale*, chap. I, p. 9.

(3) Voy. *Zoologie médicale, exposé méthodique, etc.*, par MM. Gervais et Van Beneden (Mammifères).

(4) Voy. *Zoologie médicale*, même ouvrage que ci-dessus (Reptiles).

(5) Voy. *Zoologie médicale*, même ouvrage que ci-dessus (Batraciens ou Amphibiens).

d'espèces qui n'est pas inférieur à 12 000, on voit que le nombre d'espèces bruyantes, et nécessairement munies d'organes producteurs de sons, n'est qu'une bien minime fraction de la quantité des Poissons silencieux ou connus comme tels jusqu'à ce jour, et conséquemment que l'on croit être privés de ces organes ; tandis que les 12 000 autres espèces de Vertébrés ont toutes un larynx, et que, parmi ces derniers, les animaux dépourvus de voix ne sont que des exceptions.

Cette disproportion entre le grand nombre d'espèces douées d'un seul et même mécanisme vocal et la petite quantité de celles de Poissons chez lesquels trois modes différents de mécanisme sont mis en usage, est tellement considérable, qu'elle doit vivement attirer l'attention. Dans le but de rendre la cause de cette énorme disproportion plus évidente, je reviendrai, comme j'ai déjà promis de le faire, sur ces rapports numériques, après avoir rappelé quels sont les mécanismes de ces trois modes et leurs propriétés.

On est tout d'abord frappé de la ressemblance du plus simple du premier des trois modes de production des sons engendrés chez les Poissons avec celui qui préside à la formation des bruits chez les Insectes, par exemple chez plusieurs Coléoptères (1) et Orthoptères, etc.

Les mécanismes de ces bruits chez des animaux si différents sont si simples, que leur ressemblance va presque jusqu'à l'identité. Chez les Insectes ce sont des pièces écailleuses et très-dures de leur squelette tégumentaire, rugueuses ou finement striées à l'une de leurs surfaces, qui sont disposées de manière à frotter l'une sur l'autre ; et chez les Poissons ce sont les pièces organiques qui présentent plus de dureté que toutes celles du reste de leur

(1) Je citerai parmi les Coléoptères : la Criocère du Lis, plusieurs Cérambiciens, et suivant Burmeister, le *Geotrupes stercorarius*, le *G. vernalis*, le *Copris lunaris*, le *Trox subulosus*, le *Necrophorus vespillo*, l'*Hygrobia Hermani*. Les Pimélies en feraient autant par le frottement de leurs pattes contre le corps, et les Réduves, les Mutiles, par celui de la tête contre le bord du corselet. Suivant Lacordaire, on devrait mettre au nombre de ces Coléoptères bruyants quelques grands Scarabées exotiques. Parmi les Orthoptères, je ne nommerai que le Criquet bimaculé.

corps qui sont rugueuses à leur surface, et arrangées de façon à être froissées les unes contre les autres, ou, plus brièvement, c'est l'attrition des pièces solides qui, dans ces deux classes d'animaux, forme les bruits que ces êtres font entendre; aussi les effets produits, les vibrations sonores que ces mécanismes engendrent ont-elles entre elles assez de similitude pour qu'on puisse leur donner le même nom, celui de *strideurs :* pourtant, chez certains Poissons, ces bruits sont moins imparfaits, ou du moins plus variés que ceux des Insectes. Ce moindre degré d'imperfection se fait remarquer chez les Poissons qui, semblables aux Saurels, forment des sons à l'aide du frottement des os pharyngiens supérieurs sur les inférieurs, os dont les premiers sont mus, dans les directions les plus diversifiées, par de nombreux muscles, parmi lesquels, de l'aveu même de Cuvier, si opposé à tout raisonnement par analogie hasardée, « il y en a qui, dit-il, peuvent se comparer aux muscles thyréo-pharyngien et crico-pharyngien de l'Homme » (1).

Dans une modification de ce mécanisme, qui en est bien nettement un degré inférieur, on ne trouve plus, comme chez l'*Orthragoriscus*, que des bruits d'une monotomie agaçante qui proviennent de vrais grincements de dents, et ce sont ceux-là qui ont le plus de ressemblance avec les effets de sonorité dus au frottement des plaques écailleuses des Coléoptères et au bruit de râpe des Criquets.

N'est-ce pas un fait bien digne de remarque que de trouver des moyens d'expression, quel qu'en soit le mécanisme, aussi semblables à la fois chez des animaux appartenant à des types aussi différents que celui d'un Poisson et celui d'un Insecte? Il y a plus : on peut se convaincre, en entrant dans les détails, qu'il y a dans les mécanismes de la production des bruits chez les Poissons deux degrés de dégradation, et dans les bruits eux-mêmes deux degrés de dégradation, et conséquemment la transition d'un type à un autre est ménagée de façon à être aussi insensible que possible.

(1) Voy. Cuvier et Valenciennes, *Histoire naturelle des Poissons*, t. I, [illegible].

Qu'on veuille bien le noter, c'est en me tenant en dehors de toute vue théorique que je signale ces faits ; je me borne à les constater.

Toujours est-il que tous ces bruits sont d'une grande imperfection ; que leur mécanisme est des plus grossiers, même parmi ceux qui sont le lot spécial des Insectes, et qu'en dernière analyse ils ne peuvent être considérés que comme une des plus grandes dégradations que puissent subir chez les animaux les moyens d'expression acoustique qui leur ont été accordés.

Le second mode de manifestations sonores offre aussi beaucoup d'intérêt ; mais, comme on pouvait plus facilement prévoir son existence, il n'est pas d'un intérêt aussi piquant. Dans celui-ci, ce sont les gaz qui, chassés en dehors par les muscles, viennent mettre en vibration plusieurs parties des ouvertures naturelles de la tête, qu'ils traversent avec une plus ou moins grande vitesse.

Le mécanisme qui engendre ces bruits, ainsi que ces vibrations sonores elles-mêmes, ont une telle similitude avec les organes qui entrent en jeu dans la production des bruits de souffle, et avec le soufflement lui-même qu'émettent certains Ophidiens et Sauriens, qu'on ne peut nier que le larynx de ces animaux, ayant perdu presque toutes les propriétés qui le rendaient un organe si parfait, se dégrade au point de ne plus remplir d'autre office que celui du tuyau porte-vent ou celui de la trachée-artère elle-même, et qu'alors il devient, sous le rapport des effets qui en résultent, analogue au pavillon qui termine le bout antérieur du canal pneumatique des Poissons, car il est bien entendu que je ne veux pas assimiler ces organes l'un à l'autre sous d'autres rapports.

L'analogie entre les poumons des autres animaux et les vessies aérifères des Poissons, et toutes les formes intermédiaires d'un organe à l'autre, sont maintenant reconnues et admises par tous les naturalistes. Aussi m'accordera-t-on sans difficulté, je le pense, que, dans ce second mode de bruits expressifs, la vessie et le canal pneumatique représentent un appareil de soufflerie analogue à celui qui résulte de l'action des poumons et de la tra-

chée-artère dans les Reptiles et Batraciens dont je viens de désigner les ordres.

Le degré de dégradation du larynx dont je viens de parler établit donc le passage entre les organes producteurs de sons des Reptiles proprement dits et les parties organiques accordées dans le même but aux Poissons.

Chez ces derniers, on trouve une autre modification des manifestations sonores, que l'on peut considérer, soit comme un dernier degré de dégradation du second mode, soit comme une représentation du mécanisme de la phonation, réduite à l'état le plus rudimentaire.

La modification sur laquelle je veux attirer l'attention est celle que j'ai décrite chez les Poissons, dont le tube digestif est capable de contenir une grande quantité de gaz, et de le conserver assez longtemps pour qu'ils puissent s'en servir selon leur volonté.

Quoique le mécanisme de cette dernière modification soit assez dégradé pour que les seuls bruits qu'il puisse former soient instantanés, plusieurs organes accessoires leur viennent en aide, et impriment à ces bruits quelques variétés.

Je crois qu'il est inutile d'insister davantage sur le degré d'infériorité du mécanisme et des effets produits au moyen de ce mode de modification acoustique, et je passe outre.

De tous les tissus qui entrent dans la composition organique du Règne animal, et sur lequel nous possédons des notions de quelque valeur scientifique, nous ne connaissons que le tissu musculaire qui puisse de lui-même, et par un acte physiologique qui lui est spécial, la contraction musculaire (irritabilité, musculation, myotilité), produire des mouvements assez rapides pour engendrer des vibrations sonores. C'est positivement ce tissu qui, dans le mécanisme du troisième mode de production des phénomènes acoustiques, ne se borne plus à imprimer à des corps solides ou gazeux des mouvements qui, à leur tour, font naître des vibrations sonores; mais c'est ce tissu lui-même qui, en se contractant, donne naissance à des ondulations sonores.

C'est assurément là un fait très-remarquable, qui d'abord

rehausse l'importance de cette propriété physiologique, qui a été dédaignée avant d'avoir été suffisamment étudiée : la trépidation ou vibration musculaire, et qui en outre attire l'attention sur un troisième mode de formation de sons volontaires, ce qui porte à trois le nombre de mécanismes différents mis en œuvre dans une seule et même classe : la cinquième classe des Vertébrés.

Le mécanisme de ce troisième mode de manifestations sonores présente plusieurs degrés de perfectionnement. Dans le plus infime degré de développement de ce mode, nous reconnaissons un fait bien inattendu : c'est le tissu musculaire, sans le concours d'aucun autre tissu, d'aucun organe accessoire ou supplémentaire, produisant des bruits volontaires spéciaux variés, suivant les désirs de l'animal, et dont par conséquent il peut déjà se servir comme de bruits expressifs.

N'est-il pas, je le demande au lecteur méditatif, du plus saisissant intérêt de constater, comme je le fais ici en ce moment, que quelques faisceaux musculaires soumis à la volonté et capables de vibrer : voilà en dernière analyse à quoi se réduit l'instrument organique propre aux manifestations acoustiques d'une partie de l'instinct d'un animal vertébré. C'est en effet le résultat auquel je suis parvenu, en démontrant les propositions relatives aux bruits formés par le *petit* et le *moyen frémissement* des Hippocampes.

Dans les quatre premières classes de Vertébrés, on ne connaît pas de fonction dont le mécanisme soit comparable à celui de l'appareil vésico-pneumatique, qui, comme nous venons de le voir, est l'instrument organique le plus parfait du troisième mode de mécanisme de la production des manifestations sonores (1). Il faut encore aller chercher dans un autre type que celui dont la classe des Poissons forme la plus infime, les analogues du méca-

(1) Cet appareil constitue un instrument physiologique abdominal qui réalise en quelque sorte, par sa position et ses fonctions, la propriété qu'exprime le mot ventriloquie, mot dont on ne pouvait jusqu'à présent se servir que dans son acception figurée, puisqu'il supposait la voix formée dans la cavité ventrale. Je ne me suis pas servi de cette expression et de ses dérivés, parce qu'elle n'est plus employée dans les sciences.

nisme animal employé dans l'appareil vésico-pneumatique. Et où le rencontre-t on? Précisément chez les Insectes; mais il n'est là qu'à l'état rudimentaire. Ainsi, chez certains Hyménoptères et Diptères et quelques autres Insectes, quand l'animal est au repos, quand il ne vole pas, le bruit bourdonnant qu'il peut émettre est produit par la vibration des muscles qui attachent la tête au corselet, et souvent aussi par d'autres muscles qui, dans ce cas, font vibrer le corps tout entier.

J'ai répété les expériences de Dugès sur le bourdonnement, et mon habitude dans cet ordre d'investigations me permet d'avoir quelque confiance aux résultats qu'elles m'ont fournis, et d'affirmer ici que l'opinion de ce physiologiste, quoiqu'il ne l'ait appuyée que sur des expériences qui ne sont pas complétement satisfaisantes, mérite d'être prise en considération.

Suivant cette manière de voir, chez l'Insecte comme chez le Poisson, c'est le même mécanisme employé par la nature, mais laissé dans sa forme primitive chez l'Insecte et l'Hippocampe, du moins pour une partie du bruit que ce Lophobranche peut émettre; et ce mécanisme simple ne comporte dans ce cas que les bourdonnements ou les bruits plus élémentaires encore, comme le sont ceux de *rotation* proprement dite. Mais ce moyen expressif, par une modification de son mécanisme, est porté chez la Morrude, par exemple, à un tel degré de perfectionnement, que les phénomènes acoustiques qui en résultent deviennent comparables, sous plusieurs rapports, à la voix de certains Oiseaux, mais n'en reste pas moins un instrument moins parfait que le larynx des Oiseaux chanteurs et celui de l'Homme (1).

En résumé, on voit que, sur les trois modes de mécanisme de la formation des manifestations sonores que j'ai décrits chez les Poissons, deux ont des principes identiques dans les animaux de

(1) Le Bouvreuil, qui, à l'état sauvage, n'a pour tout chant qu'un grincement semblable au bruit d'une scie, a pourtant un appareil vocal capable de chants aussi variés que ceux des Oiseaux chanteurs. La preuve de cette assertion est que cet oiseau, qui est susceptible d'une certaine éducation vocale à l'aide des soins de l'homme, devient, comme le dit Cuvier, « un assez joli chanteur ». Ce qui tend à prouver qu'un animal abandonné à son instinct inculte n'est pas toujours capable de profiter de toute l'étendue des facultés vocales que la nature lui a départies, et que son instinct a besoin d'un cer-

A

la cinquième classe de Vertébrés et dans les Insectes, et que la troisième a la plus grande analogie, et même une ressemblance bien rapprochée de l'identité avec le mécanisme des bruits de souffle ou de soufflement propre aux Reptiles.

Enfin la lacune dont je suis parvenu à combler une partie, contenait donc le secret de quelques anneaux de la chaîne physiologique qui unit les Poissons, d'une part, aux Amphibiens et aux Reptiles, résultat qui confirme une fois de plus la ressemblance de ces classes d'animaux, mais, d'autre part, et doublement, aux Insectes, et vient ainsi donner gain de cause aux naturalistes qui, tenant compte de l'organisme tout entier des animaux qu'ils considéraient, ont, dans la coordination des quatre types du Règne animal, substitué le type des Annelés à celui des Mollusques, que Cuvier, faisant une trop large part au principe des organes dominateurs, avait placé immédiatement après la classe des Poissons.

Les divers rapprochements que je viens de rappeler nous mettent plus à même d'apprécier la signification théorique de la multiplicité des modes de mécanisme de la production des sons mis en usage dans cinquante-trois espèces de Vertébrés de la cinquième classe, comparé, au seul et même mode de formation de vibrations acoustiques dont sont douées deux mille espèces d'autres Vertébrés.

Nous avons maintenant bien présent à l'esprit le degré d'infériorité des trois modes donnés aux Poissons, et pouvons conclure en pleine connaissance de cause que ce luxe de modes divers n'est que spécieux, puisque aucun d'eux n'est assez parfait pour être comparé au larynx du plus grand nombre des Oiseaux chanteurs. Ces trois modes ne sont donc réellement que des degradations plus ou moins imparfaites des moyens d'expres-

tain degré d'éducation pour acquérir le pouvoir de tirer un meilleur parti de son appareil de phonation. J'en conclus que tant qu'on n'aura pas essayé de placer une des espèces que j'ai nommées privilégiées, la Morrude, par exemple, dans des circonstances propres à montrer si elle a ou n'a pas d'aptitude à profiter d'un rudiment d'éducation musicale ; tant qu'on n'aura pas éprouvé les effets de son instinct exercé sur les sons qu'elle peut produire, nous ne pourrons pas connaître la valeur acoustique réelle de l'appareil vésico-pneumatique.

sion accordés aux animaux, et, loin d'entrevoir dans la diversité une extension des facultés de la production des sons, nous devons les considérer tous comme incapables de s'appliquer à un grand nombre d'organismes différents, ou mieux comme ne pouvant s'adapter qu'à un nombre très-restreint d'animaux, modes enfin dont le nombre supplée à la qualité.

La lacune renfermait encore deux découvertes d'une certaine importance : ce sont deux nouvelles fonctions de la vessie pneumatique. Cet organe, dont l'usage physiologique a été longtemps problématique, auquel naguère encore on contestait la concession d'une seule fonction, celle de modifier la pesanteur spécifique du Poisson, est maintenant reconnu pour un des viscères les plus surchargés de fonctions diverses. Après l'avoir admis comme organe spécialement chargé de la sécrétion de fluides aériformes, on a découvert que, dans plusieurs familles, il tenait lieu de tympan, ce qui est un fait qui me paraît définitivement démontré. Enfin, dans ces derniers temps, on s'est accordé à le regarder, dans un certain nombre de genres, comme un poumon complet au point de vue anatomique, et comme plus ou moins incomplet au point de vue physiologique. Considéré sous ce dernier rapport, si l'on admet les résultats de mes expériences sur les Barbeaux et les Meuniers, etc., on reconnaîtra à cet organe une fonction qui augmentera le nombre des particularités physiologiques qui le rapprochent du poumon ; on verra en lui et en son canal pneumatique un ensemble d'organes remplissant l'emploi d'un appareil de soufflerie, identique, sous le rapport physiologique, avec la portion du mécanisme dévolue au poumon et à la trachée-artère dans la phonation. Toutefois l'attribution de cette nouvelle fonction à la vessie pouvait être prévue, et était pressentie par plusieurs physiologistes ; mais une autre fonction qui déjouait toutes les suppositions, toutes les spéculations, et qu'on ne peut plus, suivant moi, lui dénier, est celle d'organe accessoire dans la production des phénomènes acoustiques, ou d'organe faisant office de table d'harmonie.

Il faut remarquer que s'il y a une grande ressemblance entre un appareil propre à renforcer, tant bien que mal, toute espèce

d'ondulations sonores, et une vraie *table d'harmonie* appropriée par ses dimensions, sa forme, etc., à amplifier un nombre toujours restreint de vibrations sonores, il n'y a pas identité complète entre ces deux instruments, et qu'aucun motif ne s'opposait à comparer la vessie pneumatique à un organe de renforcement banal capable de venir en aide aux organes de l'audition ; car toute cavité remplie d'air, une portion du tube digestif, de l'estomac lui-même, contenant des gaz, pouvait servir d'organe tympanique. Mais pour l'assimiler à une table d'harmonie, elle avait à remplir tant de conditions acoustiques, que tout physicien, consulté sur une pareille supposition, se serait refusé à admettre comme probable le fait que je crois avoir démontré à la satisfaction des physiologistes, sans toutefois être parvenu à en donner la théorie.

Tant de fonctions différentes données à un seul et même organe est un fait peu commun dans l'organisation des Vertébrés ; et si l'on peut le considérer comme un exemple de la tendance de la nature à l'économie, il est assez remarquable pour qu'on en fasse l'objet d'une mention particulière.

J'ai montré dans l'historique (1) comment toutes les données anciennes sur les sons que rendent les Poissons sont tombées dans le discrédit, et, par suite, comment les deux seuls physiologistes qui se soient occupés de ces sons dans les traités qu'ils ont publiés en 1838 et 1840, ont été réduits à avouer qu'ils ne pouvaient affirmer l'authenticité d'aucun de ces bruits, et moins encore que les Poissons bruyants, par le seul fait qu'on les avait entendus former des sons dans l'atmosphère, fussent réellement capables d'enproduire dans l'eau, dans le milieu où ils vivent. On comprend très-bien qu'en ne possédant pas, sur ce point scientifique, de notions plus exactes, le monde savant soit resté, comme avant la publication de ces traités, sans pensées arrêtées sur les bruits que produisent les Poissons, et bien éloigné de songer à attribuer à ces animaux la faculté d'émettre des manifestations sonores

(1) L'introduction et l'historique du présent travail, n'ayant pu trouver place dans les *Annales des sciences naturelles*, paraîtront incessamment dans une brochure in-8 publiée par l'auteur, chez G. Masson, libraire, place de l'École-de-Médecine.

qui leur permissent d'échanger entre eux l'expression de leurs sensations instinctives.

On n'a pas, que je sache au moins, mis en doute que les clameurs des Batraciens mâles ne fussent des chants d'amour, des épithalames, suivant l'expression poétique de Plutarque ; et la plupart des naturalistes modernes reconnaissent le même caractère aux chants de la Cigale, du Criquet, etc., etc.

Ce que l'on a accordé presque unanimement aux cris des Batraciens et aux bruits que produisent certains Insectes, pourquoi présentement refuserait-on de l'admettre à l'égard des bruits et des sons commensurables que forment les Poissons? Quelles sont les propriétés que doivent présenter les bruits que fait entendre un animal, en général, pour qu'il soit logique d'admettre que ces bruits sont réellement des actes expressifs ? Il ne s'agit, je le crois, que de démontrer l'existence authentique de ces bruits ou sons, leur formation normale dans le milieu où vit l'animal, leur caractère volontaire, leur indépendance de tout acte physiologique autre que celui d'une fonction expressive. Comme je pense avoir présenté dans cet écrit des démonstrations qui établissent péremptoirement que les bruits et les sons commensurables, auxquels j'ai affecté la propriété d'être *expressifs*, possèdent toutes les qualités que je viens de rappeler, je ne crois pas qu'après avoir vérifié mes démonstrations, on puisse se refuser à admettre avec moi que les bruits et les sons musicaux que font entendre certains Poissons, et que j'ai désignés sous les noms de *bruits* et de *sons expressifs*, sont de véritables manifestations acoustiques à l'aide desquelles ces animaux se communiquent mutuellement leurs sensations instinctives.

Les principaux résultats des démonstrations dont je viens de parler se trouvant réunis dans le paragraphe relatif au *Sciæna Aquila*, je les récapitule ici comme un exemple saisissant des arguments qui militent en faveur de mon opinion.

Voici cette récapitulation :

Quand on se représente le grand nombre et la *disposition des organes qui concourent à la composition de l'instrument physiologique musical* que j'ai étudié dans les Maigres ; quand on re-

marque que *ces organes et ceux de la phonation chez les autres Vertébrés, en général, suivent dans leur développement une marche semblable;* quand on a égard *au degré de perfectionnement qu'offrent les organes de l'audition* chez les Sciénoïdes dont il s'agit ici ; quand on observe que ces Poissons *produisent dans l'atmosphère, ainsi qu'au sein des eaux, des sons* dont la puissante intensité est imposante; qu'ils ne font *un usage fréquent de ces sons que dans le cas où ces vibrations sonores peuvent parvenir aux oreilles de leurs congénères;* que *c'est principalement au temps du frai qu'ils sont prodigues de ces sons;* que *ces émissions sonores n'accompagnent aucun autre acte physiologique comme effet inévitable de ce dernier;* quand, enfin, on réfléchit à toute la portée de cet argument, à savoir, qu'*on ne peut douter que ces sons ne soient complétement soumis à la volonté du Poisson*, on est conduit à se demander si tous ces nombreux organes qui contribuent à la formation des sons, et les phénomènes acoustiques commensurables qui en résultent, *sont sans utilité aucune*, ou si ces derniers ne sont pas employés par les Maigres à communiquer aux individus de leur espèce les besoins instinctifs qu'ils ressentent, comme le fait tout animal doué de la faculté de produire des sons volontaires ou des bruits qui ne sont pas liés inévitablement à l'accomplissement d'un autre acte physiologique.

Poser cette question, n'est-ce pas la résoudre affirmativement?

Comme je puis faire valoir, en faveur de chacune des espèces étudiées dans ce mémoire, plusieurs arguments péremptoires énoncés et soulignés dans l'alinéa précédent, je crois n'avoir plus qu'à conclure.

Conclusion générale. — L'anatomie, la physiologie et l'histoire des mœurs des animaux s'accordent à prouver que la nature n'a pas refusé à tous les Poissons des eaux douces et de mers de l'Europe le don d'exprimer par des sons leurs perceptions instinctives, mais qu'elle n'a pas conservé l'unité, chez ces êtres, de mécanisme dans la formation de ces vibrations sonores, comme elle l'a fait dans les quatre autres classes de Vertébrés. Elle a eu recours, dans l'organisation des Poissons, au moins à trois

mécanismes essentiellement différents les uns des autres, et dont la valeur physiologique va se dégradant.

Plusieurs espèces qu'elle a le plus favorisées ont reçu d'elle le pouvoir d'émettre des sons commensurables, comme les sons musicaux, engendrés par un mécanisme dont la vibration musculaire est le principe moteur. Elle a donné à d'autres espèces la faculté de produire des bruits de souffle analogues à ceux que font entendre plusieurs Reptiles, et n'a enfin accordé à d'autres espèces que les moyens de former des bruits de *stridulation* résultant d'un mécanisme grossier qu'on retrouve chez un bon nombre d'Insectes.

APPENDICE.

SUR UN POISSON EXOTIQUE

Le Schal A'rabi (*Synodontis A'rabi*, Cuvier et Valenciennes).

Plusieurs parties de l'organisation du Schal A'rabi sont tellement extraordinaires; sa vessie pneumatique, en particulier, offre des singularités si intéressantes; la discussion dont il a été l'objet, et la réputation des savants qui ont étudié son anatomie, sont telles, que j'ai attaché une grande importance à vérifier sur des individus vivants toutes les assertions qu'on a avancées à son sujet (1).

Pendant le temps de ma navigation au service de l'État, j'avais été si souvent en Égypte, vingt fois peut-être; je connaissais si bien les habitudes brutales, barbares, des bateliers du Nil et des Fellahs riverains, avec lesquels j'allais de nouveau être en rela-

(1) Quoiqu'il fallût aller jusqu'en Égypte, jusqu'au delà du Delta, pour exécuter cette vérification, je n'ai pas reculé devant la conception de ce projet, qui pour moi était alors entouré de tels obstacles, que celui qu'y apportait ma déplorable santé était le moindre à mes yeux. Grâce à la bienveillance éclairée d'un de mes condisciples, M. Béhic, président du conseil d'administration du service maritime des Messageries nationales, j'ai pu réaliser ce projet. Si mes forces physiques n'avaient pas trahi mon énergie morale et si mon séjour en Égypte eût été moins dispendieux, ce voyage eût été plus fructueux pour la science. Mais comme j'ai fait, dans la mesure de mes forces,

tion, que j'avais pu prendre des précautions à l'aide desquelles, dès mon installation dans la barque des pêcheurs, mes observations purent commencer et être continuées sans incident notable. Je savais dans quelles localités le Schal A'rabi, qui est un des Poissons les plus communs du Nil, se trouvait en telle abondance, que je ne pouvais manquer d'avoir à ma disposition un nombre de sujets bien vivants, bien vigoureux, suffisant à mes investigations, et c'est dans ces bonnes conditions que j'ai pu accomplir la vérification que j'avais projetée.

J'ai reconnu que le Schal A'rabi peut produire plusieurs espèces de bruits, savoir : deux ou trois assurément irréguliers, au moyen : 1° du décollement subit de ses lèvres et de ses opercules; 2° de mouvements exagérés, soit des articulations de la mâchoire inférieure, soit de celles de ses opercules : le bruit qui provient de ces derniers organes ressemble souvent à un claquement ; 3° d'un soufflement analogue à celui d'une éructation, et sur lequel je n'ai pu me procurer que des notions vagues, parce que je n'ai pu observer ces Poissons dans plusieurs phases de leur existence, et qu'il eût été surtout nécessaire de les soumettre à un examen suivi durant le temps du frai. Toutefois j'ai remarqué que, dès que ces Poissons sont tirés de l'eau, ils avalent une grande quantité d'air, ce qui pourrait expliquer ces éructations ; mais ils ont une vessie aérifère qui, d'autre part, pourrait donner lieu à une explication encore plus satisfaisante de ce bruit ; aussi je ne le mentionne ici que comme bruit *irrégulier*, et sur lequel de nouvelles recherches seraient nécessaires pour lui donner une place certaine dans la classification des sons.

toutes les investigations qu'il m'a été possible d'effectuer, je ne crois pas avoir encouru le moindre reproche de négligence. En attendant que je publie les autres résultats scientifiques de cette pérégrination, que M. Béhic veuille bien accepter l'hommage de la partie de mon mémoire relative au Dactyloptère (*a*), et le présent travail comme un tribut de ma reconnaissance et comme un témoignage public des sentiments élevés qui l'ont porté à répondre à l'appel fait au nom de la science par l'un de ses plus humbles pionniers.

(*a*) Le Dactyloptère voltigeant est encore une des espèces de Poissons dont j'ai recueilli plusieurs exemplaires et sur laquelle j'ai pu faire des expériences durant ce voyage.

Aucun auteur n'a parlé de ces bruits, qui ont en effet peu d'importance, à l'exception du dernier, qui, étudié à loisir, pourrait offrir quelque intérêt. Mais tous les naturalistes qui se sont occupés de ce Poisson n'ont fait que répéter ce qu'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire a avancé sur les bruits que, suivant cet auteur, cet animal peut engendrer, en mettant en mouvement le premier rayon de la première nageoire dorsale et le rayon du même rang de ses nageoires pectorales : ce sont ces bruits qui ont été l'objet principal de mes observations.

J'ai d'abord examiné si, sur le sujet vivant, le premier rayon des pectorales avait plus de jeu dans son articulation qu'il n'en a chez les animaux de cette espèce conservés dans l'eau alcoolisée, et j'ai vu que les mouvements sont dans les deux cas identiquement les mêmes. De plus, mes investigations, faites avec soin, m'ont démontré : 1° que, de tous les mouvements qu'exécute le Poisson, il n'en est pas un seul qui puisse amener une partie de la surface interne de la lame du rayon en contact avec les portions osseuses entourant l'épaule, de sorte qu'un frottement soit possible entre ces os, pas plus à quelque distance que sur les bords de cette cavité; 2° que ce n'est qu'en dedans de la capsule articulaire que le frottement de ces os peut avoir lieu, et donner naissance à un bruit. Après avoir établi ce fait par une démonstration péremptoire, j'ai procédé à la vérification des faits observés et affirmés par l'auteur de l'*Anatomie philosophique*.

J'ai constaté que le Schal A'rabi produit un bruit en agitant le premier rayon de ses pectorales. La preuve de cette assertion est que le mouvement du rayon est en tel rapport avec le bruit, que la production de ce dernier n'a lieu que durant le mouvement de ce rayon osseux : c'est un fait sans exception ; pas de mouvement, pas de bruit. Tous les mouvements de ces deux rayons ne sont pas bruyants ; ceux de la natation sont aussi grands que l'articulation peut permettre au Poisson d'éloigner ou de rapprocher ces rayons de son corps, et sont silencieux. Les mouvements qui sont accompagnés de bruit sont beaucoup plus courts, saccadés le plus souvent. Les mouvements silencieux

sont presque toujours séparés des mouvements bruyants par un petit temps d'arrêt.

Le son incommensurable que rend le Poisson est assez doux, pour qu'il n'éveille pas dans l'esprit de l'observateur l'idée de l'attrition de deux corps rudes.

Il n'a pas une grande intensité : on l'entend à 2 mètres de distance, quand il est formé dans l'atmosphère. Le Poisson le produit également sous l'eau, et, dans ce dernier cas, on le perçoit encore quand l'animal est à un mètre et demi de distance sous l'eau, et que l'oreille de l'observateur est à un demi-mètre au-dessus de la surface de l'eau.

Tant que le Poisson a toute sa vigueur, il rend aussi souvent le bruit en étendant son rayon qu'en le rapprochant de son corps; mais dès qu'il s'affaiblit, ce n'est que durant l'abduction qu'il produit ce son incommensurable, et lui donne encore une assez grande intensité.

Quand l'animal est resté quelques minutes hors de l'eau et qu'il tarde à faire entendre le bruit qui lui est propre, les pêcheurs du Nil savent bien qu'ils peuvent l'exciter à bruire en appuyant un doigt sur la ceinture humérale et entre les insertions des deux pectorales ; mais la réussite de cette manœuvre n'est pas aussi infaillible qu'ils le croient.

Si le mouvement du premier rayon de la première dorsale est bruyant, il faut que le bruit ne soit produit qu'exceptionnellement dans son articulation, puisque aucun des Schal A'rabi vivants soumis à mon examen n'a fait usage de ce mouvement pour engendrer des phénomènes acoustiques.

Il tient presque constamment ce rayon dans l'état de la plus grande extension, et fixé inébranlablement à angle presque droit avec l'axe du corps.

La base de ce rayon osseux porte un anneau du même tissu, anneau dans lequel est engagé un barreau également osseux ; on comprend aisément la facilité d'un point d'arrêt dans une articulation ainsi disposée.

L'état de l'extension fixe est du reste la situation normale de ce rayon ; aussi le Poisson ne le fléchit-il que dans peu d'occa-

destinées, et où il n'y a que le condyle externe qui soit engagé dans sa gouttière. Si donc, dans ces conditions, on continue le mouvement d'adduction, on produit infailliblement le bruit. J'ai répété un très-grand nombre de fois cette observation, qui a constamment fourni le même résultat, et m'autorise à affirmer que le frottement d'une partie du condyle externe dans sa gouttière est assurément un des mouvements qui, chez l'animal vivant, peuvent produire le bruit.

En découvrant, à l'aide d'autres coupes, tous les organes qui contribuent à ce mouvement, j'ai vu que c'est principalement le côté externe et incliné en bas de ce condyle, là où sont les plus grosses lignes saillantes que porte cet os, ainsi que le bord coupé carrément de la *roue de la poulie*, qui, en frottant sur les parties creuses articulaires où ils sont reçus normalement, engendrent le bruit.

Il est probable que d'autres parties de ces trois condyles, et même que d'autres organes de cette articulation, peuvent, dans certains cas, devenir la cause de bruits analogues; mais il reste certain pour moi que le condyle externe est le principal agent producteur des effets de sonorité qu'émet le Schal A'rabi.

Ce fait bien constaté, vérifié plusieurs fois, et enfin établi comme principe, il reste à expliquer la possibilité d'un frottement assez rude pour produire le bruit que j'ai décrit, et l'innocuité d'un tel frottement sur des surfaces articulaires, sans développement du moindre accident inflammatoire, innocuité bien prouvée par l'absence de toute lésion dans les articulations des plus vieux individus de l'espèce.

Il importe de répéter ici que ce bruit engendré normalement par un sujet vivant est assez doux pour être assimilé au bruit du frottement de deux coussinets recouverts de maroquin, mais nullement à l'attrition de corps rugueux et secs; tandis que, dans le cas où ce bruit est produit artificiellement chez un Poisson mort en tordant le premier rayon, il a de la ressemblance avec le bruit de *raclement* qui résulte de l'attrition de deux surfaces osseuses inégales et sèches.

Je ferai remarquer en premier lieu que nous ne possédons

aucune donnée positive sur le degré de force d'attrition que des surfaces articulaires d'un animal à sang froid peuvent supporter sans être atteintes d'inflammation, et que toute analogie pathologique entre des articulations d'un animal à sang chaud et d'un Poisson est plus ou moins problématique.

Toutefois l'explication qui reste à donner étant du domaine de la physiologie ou de celui de la pathologie, on ne doit pas s'attendre à y trouver des faits et des raisonnements aussi positifs que ceux que j'ai tirés des notions anatomiques que j'ai exposées plus haut.

Je n'ai, je l'avoue, à présenter que des présomptions, qui pourtant offrent assez de probabilités pour être prises en considération.

La première est celle qui me porte à croire que le bruit est produit par le frottement des lignes saillantes de la surface externe et du bord du gros condyle sur les saillies semblables du bord et du fond de la grande gouttière de la cavité articulaire du premier rayon des pectorales. Le sommet de ces lignes saillantes est, comme je l'ai dit, recouvert d'une synoviale assez résistante, pour que le frottement de deux points ayant lieu à angle droit, suivant la direction des sommets de deux lignes qui viennent à se rencontrer, le contact ne puisse avoir de durée et soit presque instantané; s'exerçant du reste simultanément sur une multitude de points, ce frottement, quoique restant doux, peut devenir bruyant, en raison du grand nombre de points qui sont au même instant en contact, et conséquemment il n'est pas besoin d'une attrition forte pour engendrer le bruit.

D'autre part, si l'on considère plus attentivement ce qui a lieu au sommet de chaque ligne saillante, on voit que le point qui vient de subir le frottement durant un temps très-court est sitôt après mis en contact avec la synoviale boursouflée et épaisse qui remplit la cannelure séparant cette première ligne saillante de la suivante, et que ce même point culminant ne se retrouve en contact avec une ligne saillante qu'après avoir été inondé de synovie, par suite de son frottement sur la membrane synoviale ruisselante de ce liquide; qu'ainsi ce point est alternativement

frotté sur une synoviale rude et sèche, et sur une autre trempée d'humidité et mollasse, alternative qui le garantit de la sécheresse, qui est considérée comme la cause la plus fréquente de l'inflammation des membranes synoviales chez les animaux mammifères.

On peut appliquer ce que je viens de dire sur un des points exposés au frottement à tous les autres points culminants, ou plus généralement à toutes les parties organiques productrices du bruit.

Dans cette présomption, les phénomènes acoustiques seraient engendrés avec un très-petit développement de force motrice.

La seconde présomption généraliserait le cas anatomique que j'ai signalé, et dans lequel le bord coupé carrément de la *roue de la poulie* manquerait plus ou moins complétement de synoviale, et cette dénudation ayant également lieu sur le fond rugueux de la gouttière en rapport normal avec ce bord, le frottement assez intense de ces deux surfaces l'une contre l'autre produirait le bruit. Les bourrelets de tissu adipeux environnant préserveraient les points frottés de toute lésion inflammatoire.

Enfin, si ni l'une ni l'autre de ces présomptions n'était jugée satisfaisante, je ne comprendrais qu'une explication applicable à ce fait extraordinaire : ce serait son étrangeté même. Je veux dire que l'on peut être autorisé à admettre qu'un animal qui offre dans son organisation tant de traits tout à fait bizarres, tout exceptionnels, n'ayant aucune analogie avec la constitution des autres Poissons, peut bien offrir dans sa physiologie des faits non moins extraordinaires.

EXPLICATION DES PLANCHES (1).

PLANCHE 16.

Fig. 1. Appareil vésico-pneumatique d'un *Zeus faber* (Linn.) dont le corps avait 41 centimètres de longueur. Cet appareil est vu par sa face supérieure.— La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 49,49 : 100.

(1) Ces planches se trouvent à la fin de la première partie de ce mémoire (tome XIX, nos 16, 17, 18 et 19).

A, B, C, portion antérieure ou ovoïde de l'appareil vésico-pneumatique. — B, C, D, portion postérieure ou cylindrique du même appareil. — *m*, *m*, les muscles intrinsèques de l'appareil.

Fig. 2. Le même appareil, vu de profil, du côté gauche. — Figure grandeur comme ci-dessus.

A, B, C, portion antérieure ou ovoïde de l'appareil. — B, C, D, portion postérieure ou cylindrique de l'appareil. — *r*, *r*, racines des deux aponévroses d'attache de l'appareil. — *m*, muscle intrinsèque gauche.

Fig. 3. Le même appareil, ouvert par une incision longitudinale faite sur la ligne médiane de sa face inférieure, puis étalé sur une plaque de liége à surface concave. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 35,97 : 100.

A, B, C, intérieur de la portion ovoïde de l'appareil. — m, m, m, m', m'', face interne de la membrane muqueuse recouvrant toute la surface interne de la membrane fibreuse de la portion ovoïde de l'appareil, à l'exception pourtant d'une petite portion triangulaire C, v, o. — m'', l, o, lambeau triangulaire de la membrane muqueuse détaché de la membrane fibreuse, relevé et refoulé en dedans pour mettre à nu une petite portion de la surface interne de la fibreuse. — C, v, o, surface interne de la membrane fibreuse laissant voir les faisceaux des fibres disposées transversalement dans la couche la plus profonde de son tissu. — B, n, n, m'', bord postérieur ou terminal de la membrane muqueuse faisant une saillie très-marquée à l'intérieur de l'appareil. Cette partie saillante a été détachée avec le lambeau triangulaire dans une petite partie de son étendue de m en C, puis maintenue relevée par une érigne E qui a entraîné avec elle un petit morceau de la membrane arachnoïdienne de la portion cylindrique de l'appareil, membrane dont nous parlerons bientôt. — B, C, D, intérieur de la portion postérieure ou cylindrique de l'appareil dans laquelle on voit ses deux membranes superposées en B, p, s'', s''', m'', et séparées en C, m'', s''', s''. — n, n, deux des petites éminences qui rendent rugueux le bord saillant de la membrane muqueuse. — B, p, p', p''', C, membrane externe de la portion cylindrique ou postérieure de l'appareil : la partie marginale de la face interne de cette membrane est à nu dans la surface C, m'', s''', s'', p', p'' ; le reste de cette membrane externe est presque entièrement recouvert par la membrane interne. Cette membrane externe, qui a une épaisseur notable, est d'une si grande *rétractilité*, d'une telle élasticité, que, dès qu'elle est ouverte et libre, elle se recroqueville, et quelque soin qu'on apporte à la distendre, sa surface présente une foule de petites poches anfractueuses qui n'ont pu être représentées ici. — s, s', s'', s'''', s''', membrane interne de la portion cylindrique de l'appareil recouvrant, à l'état normal, toute la membrane externe; mais la figure la représente détachée dans une certaine étendue de la membrane externe. Cette membrane interne est formée de fibres minces transparentes composant un tissu aussi délicat et plus mince que celui de la membrane arachnoïde du cerveau des Mammifères. — s'', bord postérieur de la membrane arachnoïdienne inséré près du bout postérieur de la membrane externe par ses fibres longitudinales disposées circulairement. — B, m'', bord antérieur de la membrane arachnoïdienne dont toutes les fibres longitudinales s'insèrent au bord terminal et saillant de la muqueuse de la portion ovoïde de l'appareil. — s, s''', s'', s'''', lambeau marginal de la membrane arachnoïdienne séparé par dissection de la membrane

sions, dans celle, par exemple, où il est en pleine quiétude et complétement en repos sur les fonds vaseux qu'il fréquente.

Je tiens du premier drogman de l'École de médecine d'Abouz-Abel que, chez les riches Musulmans du Caire, on place dans des baquets remplis d'eau des Schal A'rabi, dont les bruits amusent les enfants et les femmes du harem.

De quel point de l'articulation du premier rayon des pectorales provient le bruit ?

Quel que soit mon désir d'épargner au lecteur l'ennui de parcourir de longues descriptions zootomiques, je ne puis répondre à cette question qu'en donnant préalablement un précis anatomique de cette articulation.

Cette jointure est complexe : ce n'est ni un *ginglyme*, ni une énarthrose ; mais elle tient de ces sortes d'articulations.

En outre des mouvements de flexion et d'extension, elle permet un mouvement de rotation sur l'axe du rayon ; elle est donc à double mouvement, et de plus à point d'arrêt dans l'extension complète du rayon.

Ce rayon est un os très-compacte, très-dur ; toute sa surface externe, libre ou extracapsulaire, est d'un tissu aussi solide que l'émail des dents.

Il est triangulaire, comprimé, assez court, très-pointu. Sa forme générale est celle d'un ancien poignard turc recourbé, suivant le plan du plat de la lame, comme le sabre de la cavalerie légère ; la tête et le col de l'os représentent la poignée, et le reste de son étendue la lame triangulaire de ce poignard, depuis longtemps inusitée. Les deux faces de cette lame sont cannelées ; on y voit des lignes saillantes longitudinales ; la plupart sont à peu près parallèles, mais d'autres se rencontrent en plusieurs points, et sont alternativement convergentes ou divergentes ; elles sont séparées par autant de cannelures de même profondeur. Les lignes saillantes et les dépressions se contournent en approchant de la tête de l'os, et en devenant plus fines et plus superficielles, elles s'étendent sur les deux faces du condyle articulaire externe dont la description va suivre.

La tête de ce rayon est divisée en trois condyles : l'externe

est le plus gros; il a la forme d'un demi-disque; il entoure la partie la plus épaisse de la tête de l'os d'un rebord saillant et oblique à l'axe de l'os. Dans celui-ci, comme dans tous les disques, on distingue deux faces et un bord.

Sa face supérieure est concave et tournée obliquement en dedans, en avant et en haut. Sa face inférieure est convexe et oblique en sens opposé à la première, c'est-à-dire qu'elle regarde en bas, en dehors et en arrière; son bord est coupé carrément et a deux arêtes un peu mousses.

Ce condyle, le plus intéressant des trois, fait office de trochlée, ou mieux de la *roue d'une poulie fixée sur son axe*, et sans gorge, pour me servir du terme technique.

Des deux autres condyles, l'interne est bifurqué et séparé des deux autres par une fissure; le troisième enfin se prolonge suivant l'axe du rayon, et se recourbe un peu en dedans vers son sommet. Ce dernier condyle est un appendice d'arrêt, qui peut maintenir le rayon dans une position fixe, lorsque celui-ci est entièrement étendu sous un angle un peu moins grand qu'un angle droit.

La partie de la cavité articulaire qui doit attirer le plus notre attention est la grande gouttière demi-circulaire qu'elle présente, et qui est creusée dans sa paroi externe. La partie moyenne de cette gouttière est plus profonde que ses deux extrémités; son fond est plat et rugueux. Le bord externe s'élève perpendiculairement à son fond, tandis que son bord interne est convexe dans le sens de son bord à son fond ou sur sa hauteur. Cette grande gouttière reçoit normalement tout le demi-disque constituant le condyle externe qui la remplit entièrement, et y glisse, en se mouvant, comme un tenon dans une coulisse.

La grande cavité articulaire contient encore une autre gouttière courbe aussi, mais d'un bien plus petit rayon, puis s'ouvre largement en avant. Elle offre encore une autre petite ouverture; ces orifices donnent passage aux tendons des muscles qui viennent prendre insertion sur différentes parties des condyles. Toutes les autres parties creuses de cette articulation sont remplies d'un

tissu mollasse, graisseux, sécrétant une grande quantité de synovie.

La cavité articulaire porte encore, sur le bord inférieur de la joue externe de la grande gouttière, des lignes saillantes entremêlées de cannelures longitudinales. La direction de ces lignes saillantes et de ces cannelures est telle, que, dans certains mouvements du rayon, elle devient à angle droit avec celles des saillies et des dépressions qui recouvrent les deux faces du condyle externe et du col de l'os.

La surface du col et celle de la tête du premier rayon, ainsi que la cavité de l'articulation, manquent de cartilage d'*encroûtement*, ou, s'ils en ont une légère couche, elle doit être bien mince et bien facile à détruire, puisqu'en disséquant l'articulation vingt-quatre heures après la mort d'un sujet qui avait été roulé dans des linges imprégnés d'eau-de-vie faible, je ne pus apercevoir la moindre couche de ce tissu cartilagineux, et que, chez les plus gros sujets conservés dans l'eau alcoolisée, je n'en ai jamais trouvé les moindres débris.

Cette articulation ne contient non plus aucun fibro-cartilage interosseux ; elle possède seulement une capsule articulaire bien résistante et pourvue par endroits de ligaments. La partie syndesmologique la plus développée est la synoviale, qui est d'une épaisseur remarquable dans les cannelures dont j'ai parlé, et qui s'amincit sur les lignes saillantes, mais y devient plus ferme, plus résistante, d'une dureté relative, qu'on croirait produite par un tissu de cellules pavimenteuses accumulées. Elle est tellement gonflée par la synovie qu'elle renferme, qu'elle forme des bourrelets saillants, quand on parvient à la laisser intacte en ouvrant une certaine partie de la capsule articulaire.

Sur un sujet conservé dans un liquide préservatif, j'ai vu la synoviale arrivée au pourtour de la partie externe du condyle externe revenir sur elle-même de chaque côté, et laissant à nu le milieu de cette sorte de *roue de poulie*, qui normalement est en rapport avec le fond rugueux de la grande gouttière. Ce fond n'était pas non plus, dans le cas dont je parle, revêtu d'une synoviale.

C'est Johannes Müller qui a cherché le premier, sur des Schal A'rabi placés depuis longtemps dans la liqueur préservatrice, à agiter le premier rayon des pectorales, et a, comme je l'ai dit, réussi à produire un bruit, qu'il a, avec raison, cru très-analogue à celui que le poisson fait entendre quand il est en vie.

En répétant cette expérience sur le cadavre, j'avais bien remarqué que le rayon exécute mieux les mouvements d'abduction et d'adduction, quand on lui imprime un léger mouvement de rotation sur son axe, et qu'on le fait tourner de dehors au dedans, et, de plus, que ces mouvements deviennent plus difficiles, moins libres quand on fait ainsi pivoter cet os de dedans au dehors, et qu'enfin ce n'est qu'en exagérant cette dernière rotation qu'on produisait le plus facilement le bruit.

En suivant très-attentivement et à l'aide d'une loupe les mouvements bruyants et spontanés de l'animal vivant, j'ai bien vu que le rayon tournait un peu sur son axe; mais cette rotation était tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé.

L'animal se sert donc de la faculté qu'il a de tourner son rayon de dedans au dehors pour émettre le bruit, mais il a encore à son service d'autres modes de mouvements capables de former le bruit, et que nous ne saurions reproduire sur un sujet mort.

Sur l'animal vivant, ainsi que sur le cadavre, j'avais, grâce à ma grande habitude du mode d'observation à l'aide de la pulpe de mon doigt indicateur, reconnu que le mouvement bruyant que j'étudiais avait pour siége, d'une part la zone externe de la grande gouttière, et d'autre part le fond de cette gouttière, et je me suis laissé guider par ces premières données pour poursuivre mes recherches. J'ai employé plusieurs coupes faites avec les plus minces scies dont les horlogers se servent, et je suis parvenu à mettre à nu différentes parties des divers condyles, et à suivre tous leurs mouvements dans la cavité articulaire, pendant que les rapports des pièces osseuses restaient intacts. J'ai reconnu alors avec une netteté qui ne peut laisser aucun doute dans mon esprit, que, durant l'adduction, il arrive un moment où les deux petits condyles sont éloignés des cavités articulaires qui leur sont

m, le corps du muscle presque cylindrique ; *m'*, sa courte portion s'attachant à l'os huméral ; *m''*, sa longue portion allant s'insérer en dehors sur l'os mastoïdien et en dedans à l'occipital latéral (Cuv.) ; *m*, sa partie moyenne épaisse et triangulaire en dehors, ronde en dedans. — *e*, trois racines des nerfs cérébraux de la huitième paire. — *b*, *b*, les yeux. — *p*, *p*, aponévroses abdominales détachées du muscle qui en est le tenseur. — *r*, *r*, coupe des muscles superficiels et profonds des grands latéraux du côté gauche, au milieu desquels on voit la coupe de quelques côtes. — *v*, *v*, vessie pneumatique.

Fig. 23. Coupe du lobe droit de l'appareil vésico-pneumatique du Dactyloptère voltigeant, pour montrer le diaphragme incomplet que ce lobe présente à la hauteur du canal de communication avec le lobe gauche.

l,*l*, surface interne du lobe droit. — *d*, *i*, diaphragme incomplet. — *a*, surface interne de l'appendice pyramidal.

PLANCHE 19.

Fig. 16. Appareil vésico-pneumatique du Dactyloptère voltigeant, vu en dessous, de grandeur naturelle. Le sujet d'où provient cet appareil avait 39 centimètres de longueur. Cet appareil était distendu outre mesure par le gaz qu'il contenait.

b, lobe gauche. — *b'*, lobe droit. — *m*, partie inférieure du muscle intrinsèque du lobe gauche. — *m'*, portion inférieure du muscle intrinsèque du lobe droit. Les faisceaux charnus de ce muscle, ainsi que ceux du muscle dont il est question ci-dessus, sont à nu. — *c*, appendice pyramidal du lobe gauche. — *c'*, appendice pyramidal du lobe droit. — *a*, *a*, portions de la surface inférieure de la membrane fibreuse vésicale non recouverte par les muscles. — *f*, canal de communication de l'intérieur des deux lobes, tenant lieu du corps vésical de l'appareil vésico-pneumatique des Trigles.

Fig. 17. Lobe droit de l'appareil reproduit par la figure précédente. Ce lobe est vu appuyé par son bord postérieur sur un plan et suspendu en avant par l'érigne E. Il était tellement distendu par les gaz qu'il renfermait, que son appendice pyramidal était très-peu flexible. — Il est représenté un peu plus grand que nature.

v, *v*, *v*, aponévrose recouvrant la plus grande portion du lobe droit et à la surface intérieure de laquelle s'attachent les bouts supérieurs des fibres du muscle intrinsèque droit. — *n*, *n*, ouverture ovale que présente l'aponévrose sus-mentionnée ; sur la surface que circonscrit cette ouverture, on voit l'implantation perpendiculaire des fibres du muscle *extrinsèque* droit de cet appareil ; ces fibres sont coupées au ras de la surface supérieure de l'aponévrose ci-dessus indiquée. — *p*, appendice pyramidal fortement dilaté par la trop grande quantité de gaz intérieur. — *m*, portion de la membrane fibreuse que le muscle intrinsèque laisse à nu.

Fig. 18. Appareil vésico-pneumatique de la Cavillone (*Trigla aspera*, Viv.), de grandeur naturelle, vu en dessous. Le sujet d'où provient cet appareil avait 11 centimètres 5 millimètres de longueur.

v, vessie ou corps vésical. — *m*, muscle intrinsèque gauche. — *m'*, muscle intrinsèque droit. — *c*, base de la cloison verticale, vue par transparence.

Fig. 19. Appareil vésico-pneumatique du Grondin gris proprement dit (Cuvier) (*Trigla Gurnardus*, Linn.), vu par sa face inférieure, un peu plus grand que nature, très-distendu par les gaz qu'il contenait. Le sujet qui portait cet appareil avait 40 centimètres de longueur. Il est représenté de face.

v, corps vésical. — *a*, lobe appendiculaire gauche. — *b*, lobe appendiculaire droit.

Fig. 20. Le même appareil, vu par sa face inférieure, mais de trois quarts. — Les mêmes lettres de la figure précédente indiquent les mêmes parties organiques de la figure 20.

m, muscle intrinsèque gauche.

Fig. 21. Appareil vésico-pneumatique d'une Morrude (*Trigla lucerna*, Brunn.), crevé et contenant peu de gaz, vu par sa face inférieure. — Grandeur naturelle.

v, corps vésical. — *a*, lobe gauche. — *b*, lobe droit. — *m'*, muscle intrinsèque droit. — *m*, muscle intrinsèque gauche.

Fig. 22. Appareil vésico-pneumatique d'un Rouget commun (Cuvier) (*Trigla Cuculus*, Linn.), de grandeur naturelle, vu par sa face inférieure. Cet appareil provenait d'un poisson qui avait 30 centimètres de longueur.

a, corps vésical. — *b*, lobe droit. — *c*, lobe gauche. — *m*, muscle intrinsèque droit. — *m'*, muscle intrinsèque gauche.

MÉMOIRE

SUR

LE MODE D'ÉLIMINATION DE L'OXYDE DE CARBONE,

Par M. N. GRÉHANT,
Aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle.

Élimination de l'oxyde de carbone.

On sait que la découverte de l'action toxique de l'oxyde de carbone appartient à M. Leblanc. En effet, ce chimiste a établi, par des expériences très-nettes, que, parmi les produits de la combustion du charbon, c'est seulement à l'oxyde de carbone qu'il faut attribuer les accidents mortels observés chez les animaux auxquels on fait respirer ces produits de combustion.

M. Claude Bernard a démontré le mode d'action de l'oxyde de carbone, le véritable mécanisme de l'empoisonnement produit par ce gaz. L'illustre physiologiste a donné récemment dans son cours du Collége de France une démonstration très-simple du fait de l'élimination rapide du gaz toxique : « On a placé un
» Lapin à midi dans la chambre à expériences, où il s'est trouvé
» exposé à l'action de la vapeur de charbon. On avait eu soin
» primitivement de lui prendre quelques gouttes de sang en fai-
» sant une incision à l'oreille, et de l'examiner au spectroscope.
» Le sang se réduisait complétement ; donc il était normal et
» ne contenait pas de traces d'oxyde de carbone. Le Lapin est
» tombé sur le flanc à midi et cinq minutes. Il était curieux de
» voir l'état du sang au moment où le Lapin a éprouvé les pre-

» miers symptômes de l'empoisonnement. On l'a donc retiré de » la boîte, et lui ayant repris un peu de sang par le même vais» seau de l'oreille, on a constaté la présence de l'oxyde de car» bone dans les globules : ce sang ne se réduisait plus. L'ani» mal étant revenu rapidement à la vie, on a renouvelé l'épreuve : » à midi et demi, le sang du Lapin examiné se réduisait encore » en partie, ce qui prouvait que l'oxyde de carbone absorbé » était déjà en partie éliminé ; enfin, à midi quarante-cinq mi» nutes, le sang fut retrouvé tout à fait normal. Vous le voyez » donc, l'emploi du spectroscope nous montre que l'oxyde de » carbone se fixe sur le globule, et puis qu'il s'élimine peu » à peu de l'organisme (1). »

J'ai donné du même fait une démonstration quantitative à l'aide de la mesure du pouvoir absorbant du sang pour l'oxygèneet pour l'oxyde de carbone ; en effet, dès que le gaz toxique disparaît du sang, le pouvoir absorbant du sang pour l'oxygène et pour l'oxyde de carbone s'accroît aussitôt.

Chez un Chien de forte taille du poids de 23k,500, on adapte sur la tête une muselière de caoutchouc qui se termine par un tube. La muselière imperméable est fixée derrière l'occiput à l'aide de liens ; elle s'applique si exactement sur la tête, que, si l'on insuffle de l'air par le tube ouvert, les poumons se dilatent, mais l'air ne s'échappe pas entre le muselière et la peau de la face.

Dans toutes les expériences que j'ai faites, j'ai employé, pour faire respirer aux animaux des mélanges gazeux, cette disposition, qui est bien préférable au procédé consistant à placer un tube dans la trachée, opération facile, mais qui entraîne une lésion assez grave et fâcheuse lorsqu'on veut conserver les animaux dans de bonnes conditions.

On compose, dans une cloche tubulée, un mélange de 4 litres d'oxygène et de 500 centimètres cubes d'oxyde de carbone. L'artère fémorale est mise à nu, et dans le bout central du vaisseau on aspire à l'aide d'une seringue un premier échantillon de

(1) *Revue des cours scientifiques*, 1870, t. VII, p. 475.

externe et maintenu relevé par le relèvement d'un petit bout de la partie saillante de la membrane muqueuse de la portion ovoïde de l'appareil. Cette membrane arachnoïdienne est donc représentée, doublée sur elle-même, de s'''' en s'''. — *k*, *h*, *i*, *j*, *k*, cinq corps rouges vus à travers la membrane muqueuse.

Fig. 4. Appareil vésico-pneumatique d'un Perlon (Cuvier) qui avait 43 centimètres de longueur. Cet appareil est vu par sa face inférieure; il était distendu par une quantité de gaz plus grande que celle qu'il contient habituellement. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 26,12 : 100.

a, lobe principal ou corps vésical. — *b*, lobe appendiculaire gauche. — *c*, lobe appendiculaire droit.

Fig. 5. Le même appareil, vu aussi en dessous et ouvert par sa face inférieure au moyen d'une incision cruciale, d'où résultent quatre lambeaux triangulaires *l*, *l*, *l*, *l*, qui ont été renversés en dehors sur les lobes appendiculaires. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 27,25 : 100.

c, *c*, *b*, *b*, les lobes appendiculaires. — *a*, *a*, *e*, *e*, cavité du corps vésical séparée en deux parties par le diaphragme *d*; la cavité antérieure est marquée *a*, *a*, la cavité postérieure *e*, *e*. Le diaphragme *d* est placé obliquement d'avant en arrière et de haut en bas; en *r* est son bord supérieur et antérieur; en *s*, *s*, son bord postérieur et inférieur. Il est percé d'une ouverture ronde, *f*. — *t*, *t'*, *tendon médian*, représentant une sorte de rachis de l'appareil entier. En *t'*, on voit les premières traces des divisions du bout postérieur de ce tendon pour former quelques-unes des *bandelettes tendineuses*. — *i*, *i*, *i*, *i*, *espace elliptique* formé par l'ensemble des *bandelettes tendineuses* composant le *réseau tendineux;* la direction de ces bandelettes *n*, *n*, est analogue à celle des nervures secondaires d'une feuille penninerviée par rapport à la nervure principale, représentée ici par le *tendon médian*. — *k*, *k*, *k*, *k*, *k*, trois corps rouges plus gros qu'ils ne le sont normalement, parce qu'ils étaient congestionnés. Ils sont vus à travers la muqueuse.

Fig. 6. Coupe transversale de l'appareil vésico-pneumatique du Perlon. — C'est, des figures relatives à ce poisson, une de celles qui sont représentées de grandeur naturelle.

D, corps vésical. — *c*, *b*, lobes appendiculaires. — *a*, *a*, cavité du corps vésical dont la membrane muqueuse n'a pas été représentée. — *f*, *f*, *f*, membrane fibreuse du corps vésical. — *t*, *tendon médian*. — *m*, *m*, les deux muscles intrinsèques de l'appareil. On voit la direction oblique des faisceaux charnus de ces muscles. — *n*, *n*, coupe transversale de deux des *bandelettes tendineuses*. — *p*, *p*, l'aponévrose sus-musculaire.

PLANCHE 17.

Fig. 7. Une des phases du développement de l'appareil vésico-pneumatique du Perlon. — Cet appareil, vu en dessous, est de grandeur naturelle.

a, corps vésical. — *b*, lobe appendiculaire gauche. — *c*, lobe appendiculaire droit. — *m*, muscle intrinsèque gauche. — *m'* muscle intrinsèque droit.

Fig. 8, 9, 10. Autres phases du développement du même appareil. — Les mêmes lettres

de la figure précédente indiquent les mêmes parties organiques dans ces trois dernières figures, qui sont aussi de grandeur naturelle.

Fig. 11. Partie antérieure de l'appareil vésico-pneumatique d'un Maigre de l'Aunis (Cuvier) femelle, qui pesait 9 kilogrammes et avait 1 mètre 3 centimètres de longueur. Cette portion de cet appareil est vue par sa face inférieure, dégonflée et ayant ses parois affaissées sur elles-mêmes.— La grandeur de cette figure est à la grandeur naturelle :: 43,80 : 100.

A, vessie pneumatique ou corps vésical. — *b*, *b'*, bourrelet du bord droit de l'appareil laissé complétement intact. — *c*, *c'*, bourrelet du bord gauche de l'appareil. De *b'* en *c'*, ce bourrelet a été disséqué ; le tissu cellulo-graisseux dont il se compose a été extrait, détruit, pour mettre en évidence tous les tubes des *appendices* que j'ai nommés *tubuleux ramifiés*, qui, presque tous, ont leurs parois en totalité ou en partie seulement, enveloppées d'une couche plus ou moins épaisse de ce tissu. — *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, *r*, profil des onze premiers *appendices tubuleux ramifiés* antérieurs. Ces appendices, ces systèmes de tubes embranchés sur un tube commun qu'on peut appeler leur tronc, ont été dégagés de la gangue cellulo-graisseuse dans laquelle ils étaient plongés, et leurs parois ont été entièrement débarrassées de la couche de tissu qui les environnait ; ensuite chaque tube, depuis le plus petit jusqu'aux troncs, a été étiré en tous sens, développé enfin dans toute son étendue ; puis tous les tubes d'un même système ont été méthodiquement déprimés, aplatis jusqu'à la rencontre et l'adossement de leurs parois opposées, de façon que les parois ne fissent pas de *faux plis* qui auraient pu dissimuler l'ampleur du tube ; puis, enfin, tous ces tubes ont été arrangés, autant que cela était possible, dans un même plan, en les comprimant entre deux lamelles de verre. Ces onze systèmes d'appendices ont subi la même préparation qui conserve à chaque tube ses dimensions en largeur et en longueur, et qui, reproduites exactement ici, peuvent servir à mesurer avec un certain degré de précision, qui n'est pas à dédaigner en physiologie, la capacité que chacun de ces tubes avait à l'état normal. — *s s*, deux des plus grosses dilatations arrondies, situées à la partie postérieure et supérieure de deux des appendices tubulo-ramifiés, faisant saillie en haut, où le bourrelet les laisse à nu et qui s'enfoncent dans la couche la plus interne des grands latéraux. Elles les dépriment, mais ne les percent pas.— *t*, *t*, *v*, *v*, les seuls tubes des appendices du côté droit qui étaient assez longs pour traverser les parois du bourrelet, passer à travers des éraillures des plus fortes aponévroses abdominales et s'enfoncer dans les muscles puissants des épaisses parois qui garnissent pour ainsi dire les flancs de ces énormes Poissons : les uns, *v*, *v*, pénétraient d'abord dans la couche musculaire qui tient lieu des muscles intercostaux, puis jusqu'à 4 centimètres de profondeur dans les autres grands muscles latéraux (Cuvier), et les autres tubes, *t*, *t*, s'avançaient et s'étaient établis en dehors de la surface externe de la côte la plus voisine.

Fig. 12. Le même appareil, vu par sa face inférieure, a été ouvert par une incision longitudinale faite sur la ligne médiane, puis placé sur une plaque de liége à surface concave ; les bords de l'incision sont renversés en dehors sur les bourrelets latéraux, ici peu saillants, et les recouvrent presque partout, excepté à son extrémité postérieure : aussi, en *s*, *s*, voit-on le bout de ces bourrelets. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 25,24 : 100.

d, d, d, f, f, troisième membrane muqueuse, ou muqueuse interne proprement dite, constituant un diaphragme percé d'une large ouverture ovale *f f* ; le tissu de ce diaphragme a la délicatesse, la finesse de la membrane arachnoïdienne des Mammifères. — *a*, un point de la face supérieure de la cavité de la vessie pneumatique. — *b, b, b, b, b, b', b', b'', b'', b'', b'', b''*, orifices des troncs des appendices tubuleux ramifiés, ou systèmes des cavités tubuleuses ramifiées. Cet orifice du tronc de chaque système est, à l'état normal, bouché par les muqueuses vésicales, qui, adhérant à son pourtour, y forment une cloison, une sorte de tambour ou plutôt de tympan tendu, d'une part, entre les gaz qui distendent la cavité du tronc et, par son intermédiaire, toutes les cavités tubuleuses du même appendice, et, d'autre part, des fluides aériformes qui gonflent la grande cavité du corps vésical. — *b'', b'', b'', b'', b''*, sont les orifices dont la cloison est restée intacte, et dont le tronc, ayant conservé à son intérieur une petite quantité de gaz, est légèrement gonflé ; *b, b, b, b, b*, sont les orifices des troncs dont la cavité est complétement vide, comme elle l'est le plus souvent quand on a ouvert le corps vésical : les bords de l'ouverture sont alors en contact les uns avec les autres ; enfin, *b', b'*, sont les orifices des troncs dont la cloison a été accidentellement crevée, et qui, conséquemment, se présentent sous l'aspect de simples trous.

Ces appendices, ces systèmes de cavités tubuleuses ramifiées, sont, de tout point, comparables à de *petites tables d'harmonie tubuleuses* fermées à leur embouchure commune par une membrane tendue comme la peau d'un tambour d'harmonie. Ce sont ces *singulières tables d'harmonie*, aux parois desquelles sont immédiatement transmises les vibrations sonores engendrées par les muscles qui sont en contact avec elles. Ces vibrations se propagent dans ces cavités tubuleuses où elles sont considérablement renforcées, puis elles sont transmises par le tambour ou le tympan à la grande cavité du corps vésical, qui, lui-même, faisant office d'une vaste caisse retentissante, centuple l'intensité de la multitude de vibrations sonores que peuvent lui communiquer à la fois *quatre-vingt-quatre* appendices tubuleux ramifiés qui garnissent ses parties latérales.

r, r, petites surfaces de la fibreuse vue par sa face interne mise à nu, parce que, en cet endroit, on a refoulé en dedans la portion des membranes muqueuses qui la recouvrent. — *v*, le bout postérieur du corps vésical cylindrique et pointu qui n'a pas été complétement ouvert par l'incision longitudinale. — *k, k, k*, corps rouges rapprochés en une plaque unique qui a été séparée en deux portions par l'incision longitudinale : une sur chaque côté du corps vésical ouvert.

PLANCHE 18.

Fig. 13. Appareil vésico-pneumatique d'une Ombrine (*Umbrina cirrosa*, L.) qui avait 27 centimètres de longueur. Cet appareil est vu par sa face inférieure, tenant par ses liens naturels aux parois supérieures de l'abdomen et à la partie moyenne du corps des trois premières vertèbres. Elle était distendue par une si grande quantité de gaz, que les trois bosses que présente chacun de ses côtés étaient bien moins prononcées qu'elles ne sont ordinairement. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 42.75 : 100.

n, *v*, cordon composé des nerfs et des vaisseaux sanguins qui pénètrent dans l'appareil et vont se distribuer aux différentes parties du corps rouge.

Fig. 14. Le même appareil, détaché du corps du sujet et vu par sa face inférieure, a été ouvert par une incision faite sur la ligne médiane de cette paroi et étalé sur une plaque de liége à surface concave. — La grandeur de la figure est à la grandeur naturelle :: 49,95 : 100.

a, fente longitudinale provenant de la coupe des attaches de l'appareil au corps des trois premières vertèbres.— *r*, *r*, corps rouge placé sur la ligne médiane, formant sous la muqueuse vésicale une sorte de disque ovale très-irrégulier qui a été séparé en deux par l'incision. — *s*, *s*, *s*, *s*, *s*, *s*, les sinus latéraux formant ici six cavités. C'est le nombre normal de ces sinus. Chacun d'eux est divisé en deux fossettes par un gros pli que constituent irrégulièrement les deux membranes vésicales en s'attachant par des liens très-solides aux autres membranes abdominales et souvent aux angles saillants des premières côtes. — *k*, *k*, *e*, *f*, membrane muqueuse interne proprement dite ou diaphragmatique. Elle forme un diaphragme qui recouvre une grande partie des muqueuses externes qui sont bien plus épaisses que l'interne. Celle-ci s'attache et disparaît en se confondant avec les deux muqueuses externes sur les côtés et à la moitié de la hauteur des gros plis membraneux et des sinus. Ce diaphragme, dont le tissu est aussi mince que celui de la membrane arachnoïde de l'homme, s'étend en avant et en arrière jusqu'aux points *k*, *k*, qui indiquent l'extrémité de chacune des sortes de poches que présente cette muqueuse interne. Ce sont là aussi les limites de ce diaphragme qui offre, à son centre de figure, une grande ouverture ovale *e*, *f*.

Fig. 15. Cette figure représente le muscle intracostal gauche et le nerf de ce muscle chez le Malarmat (*Trigla cataphracta*, Linn.).—Cette figure est un peu plus grande que nature. L'animal est vu en dessus ; on a enlevé une grande partie du crâne et du commencement de la colonne vertébrale, et tous les muscles grands latéraux superficiels et profonds en avant du corps, et sur le côté gauche toutes les couches musculaires, les côtes jusqu'à la profondeur de la voûte dorsale du ventre, en conservant une partie des membranes abdominales auxquelles s'attache le muscle dont il s'agit ici.

Toute la moitié postérieure de ce muscle a été séparée de ses attaches et rejetée en dehors de la place qu'il occupe, pour montrer plus aisément la courbe que le muscle entier décrit.

a, *a*, *a*, *a'*, la tête ; *a'*, l'opercule gauche. — C, le cerveau, le cervelet et la moelle allongée. — 5, deux nerfs cérébraux de la cinquième paire. — D, les trois racines du nerf du muscle intracostal et le ganglion qu'elles forment au dehors de la colonne vertébrale. En disséquant ce ganglion, on voit que le nerf du muscle intracostal est la continuation de la racine la plus grosse, la plus antérieure des trois. — *h*, le nerf du muscle intracostal depuis sa sortie du ganglion jusqu'à son entrée dans le muscle. — *f*, *f*, deux nerfs sortant du ganglion et se rendant à l'opercule et aux parties voisines. — M, une portion de l'os mastoïdien (Cuv.). — *n*, une partie de l'os huméral un peu écartée de l'opercule. — *m*, *m'*, *m''*, *m'''*, muscle intracostal gauche ; *m'''*, sa portion postérieure aplatie et contournée de dedans en dehors : son extrémité, qui finit en pointe, n'a pas pu être représentée ;

sang normal, qui est injecté dans un flacon, défibriné par l'agitation et conservé. Puis on fait respirer à l'animal le mélange toxique pendant cinq minutes : l'animal présente de l'agitation, mais il ne meurt pas, parce qu'il est de grande taille, et qu'il possède beaucoup de sang. Cinq minutes après la fin de l'intoxication partielle, la respiration ayant lieu dans l'air, on prend dans l'artère fémorale un deuxième échantillon de sang ; c'est le sang intoxiqué, qui est introduit dans un second flacon et défibriné par l'agitation. L'animal respirant toujours dans l'air, deux heures après l'intoxication, on prend toujours dans le même vaisseau un troisième échantillon de sang ; enfin, quatre heures après l'intoxication, un quatrième échantillon de sang est aspiré dans l'artère, est agité de même dans un flacon et défibriné.

Les quatre échantillons de sang furent traités de même ; on détermina le pouvoir absorbant pour l'oxygène et pour l'oxyde de carbone de 100 centimètres cubes de sang ; les gaz furent ramenés à zéro et à la pression de 760 millimètres et desséchés. Voici les résultats obtenus :

	Oxygène.	Oxyde de carbone.
1° Sang normal	23,1	22,6
2° Sang intoxiqué	9,8	11,1
3° Sang deux heures après l'intoxication	13,9	15,9
4° Sang quatre heures après l'intoxication	19,7	18,5

Ainsi le pouvoir absorbant du sang pour l'oxygène et pour l'oxyde de carbone s'accroît rapidement dans les heures qui suivent l'intoxication partielle, tandis que 100 centimètres cubes de sang partiellement intoxiqué n'absorbaient au maximum que 9^{cc},8 d'oxygène. Deux heures après l'intoxication, le même volume de sang absorba 13^{cc},9 ou 4^{cc},1 d'oxygène en plus ; quatre heures après, 19^{cc},7 ou 9^{cc},9 en plus. Or les volumes d'oxyde de carbone qui sont éliminés, sont précisément égaux aux volumes d'oxygène dont s'accroît le pouvoir absorbant du sang ; par suite, en deux heures, 100 centimètres cubes de sang ont perdu 4^{cc},1 d'oxyde de carbone, et en quatre heures, le même

volume de liquide a perdu 9^{cc},9 d'oxyde de carbone. Le contrôle fourni par la mesure du pouvoir absorbant du sang pour l'oxyde de carbone fournit des nombres qui sont peu différents des précédents ; en deux heures, le pouvoir absorbant de 100 centimètres cubes de sang pour l'oxyde de carbone est accru de 4^{cc},8, et en quatre heures de 7^{cc},4.

Cette expérience montre de plus que les volumes d'oxyde de carbone qui disparaissent sont à peu près proportionnels au temps.

Par quelle voie l'oxyde de carbone est-il éliminé, et sous quelle forme? Avant d'essayer de répondre à ces questions, il est nécessaire que je donne ici une analyse des travaux qui sont relatifs à l'étude du mode d'élimination de l'oxyde de carbone.

Recherches sur le mode d'élimination de l'oxyde de carbone.

Historique. — Je mentionnerai seulement l'hypothèse émise par M. Chenot : l'hypothèse de la combustion de l'oxyde de carbone dans l'organisme et de sa transformation en acide carbonique. M. Chenot attribue à cette combustion la production d'une grande quantité de chaleur, qui pourrait expliquer, dit-il, les accidents produits par la vapeur de charbon.

Travaux de M. Pokrowski. — M. Pokrowski (de Saint-Pétersbourg) a publié deux mémoires sur le mode d'élimination de l'oxyde de carbone : le premier. qui date de l'année 1864, a paru dans les *Archives* de Wirchow (t. XXX, p. 525) ; le second a paru dans les mêmes archives en 1866 (t. XXXVI, p. 482). Comme ces travaux paraissent avoir fixé l'opinion de plusieurs physiologistes, il est indispensable que j'expose les principaux résultats obtenus par M. Pokrowski, afin que l'on puisse comprendre les expériences de contrôle que j'ai entreprises, et qui m'ont conduit, on le verra plus loin, à des conclusions tout à fait différentes.

Pour M. Pokrowski, le rétablissement d'un animal, après un empoisonnement partiel produit par l'oxyde de carbone, ne peut s'expliquer que par la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique : « la restitution de la couleur du sang dans » l'organisme ; la couleur foncée que prend le sang empoisonné » en dehors de l'organisme ; la diminution temporaire de la tem- » pérature, suivie d'une élévation de celle-ci jusqu'à la nor- » male, élévation qui coïncide avec la restitution de la couleur » du sang ; enfin la détermination de l'acide carbonique expiré, » dont la quantité s'cccroît après l'empoisonnement, toutes ces » raisons militent en faveur de la transformation de l'oxyde de » carbone en acide carbonique. »

M. Pokrowski s'est attaché, surtout dans son premier mémoire, à rechercher comparativement les quantités d'acide carbonique exhalées par des animaux pris à l'état normal, puis placés dans les conditious d'un empoisonnement partiel produit par l'oxyde de carbone. Les animaux (Lapins) étaient placés dans un bocal cylindrique de verre d'une capacité de 13 litres, qui était fermé et muni de deux tubes pour l'introduction et la sortie de l'air. Le courant d'air entrant traversait d'abord une solution de potasse caustique, qui servait en même temps de soupape, et enlevait à l'air l'acide carbonique qu'il contient ; le second tube communiquait avec un tube desséchant à chlorure de calcium, et un appareil à boules de Liebig rempli de potasse en solution, et suivi de tubes en U contenant aussi des morceaux de potasse sèche. La pesée des tubes à potasse faisait connaître le poids en grammes de l'acide carbonique recueilli. Un aspirateur à eau déterminait le passage de l'air, dont le volume était égal à celui de l'eau écoulée. On ne fit point l'analyse de l'air du bocal ; or, dans une première expérience, un Lapin pesant 1580 grammes fournit en trente minutes 0^{gr},647 d'acide carbonique, puis en trente minutes, après l'empoisonnement, 0^{gr},658.

Dans une autre expérience, un Lapin pesant 1850 grammes donne en une heure 1^{gr},686 d'acide carbonique ; l'animal, fortement empoisonné, donne, pendant l'heure suivante, 1^{gr},804

d'acide carbonique. La quantité d'air fournie en une heure fut dans les deux cas égale à 32 litres.

Dans une troisième expérience, un Lapin fournit 1^gr^,678 d'acide carbonique en une heure; fortement empoisonné, il fournit 1^gr^,157 dans l'heure suivante, c'est-à-dire une moins grande quantité d'acide carbonique.

M. Pokrowski tire de ces expériences et d'autres semblables les conclusions suivantes: « Dans les premiers instants, sous l'in- » fluence de l'oxyde de carbone, la quantité d'acide carbonique » exhalé est diminuée dans les empoisonnements intenses, puis » relativement et absolument augmentée. La quantité de l'acide » carbonique exhalé à la suite de l'empoisonnement par l'oxyde » de carbone est toujours plus grande que la normale, excepté » dans les cas où l'animal respire dans un espace fermé, mal » ventilé. L'action de l'oxyde de carbone, sur l'augmentation de » l'acide carbonique expiré, ne dure pas plus de vingt à qua- » rante minutes; par suite, eu égard à la température et à la » couleur du sang, la durée de la période d'augmentation de » l'acide carbonique correspond assez au temps qu'exige le réta- » blissement de l'animal après l'empoisonnement.

» L'augmentation de l'acide carbonique expiré n'a pas » d'autre explication que la combustion de l'oxyde de carbone » lui-même; car, dans la recherche des phénomènes de rétablis- » sement des animaux après l'empoisonnement par l'oxyde de » carbone, on n'a vu aucune autre condition dans l'organisme, » qui pourrait augmenter la production de l'acide carbonique » dans le sang, ni des mouvements musculaires plus intenses, » ni des inspirations plus fréquentes ou plus profondes, n » l'élévation de la pression du sang. Enfin l'invariabilité du » poids du corps des animaux souvent empoisonnés n'a mon- » tré aucune formation même de l'acide carbonique aux dé- » pens des tissus. Ainsi la transformation de l'oxyde de carbone » en acide carbonique demeure seule vraisemblable, et rien ne » la contredit. »

Avant d'analyser le second mémoire de M. Pokrowski, je dois signaler deux mémoires, l'un de M. Kühne, l'autre de M. Masia,

qui sont relatifs également au mode d'élimination de l'oxyde de carbone.

M. Kühne (1) a fait passer à travers du sang oxycarboné un courant d'air, qui était conduit ensuite à travers une solution de chlorure de palladium ; ce réactif, comme l'a montré M. Bottger, est réduit par un courant d'hydrogène, par plusieurs carbures d'hydrogène, par l'oxyde de carbone, et il se produit un précipité noir. Or le courant d'air maintenu pendant plusieurs heures à travers le sang oxycarboné n'a pas donné la moindre trace de réduction du chlorure métallique, d'où M. Kühne conclut qu'un courant d'air ou d'oxygène ne peut pas enlever au sang l'oxyde de carbone, qui reste combiné avec l'hémoglobine, comme on le reconnaît à l'examen spectroscopique.

M. Masia (2) a recherché si l'oxyde de carbone n'est point converti dans le sang en acide formique ; or, chez des animaux qui se rétablissaient après un empoisonnement partiel produit par l'oxyde de carbone, jamais M. Masia n'a pu reconnaître dans le sang la présence de l'acide formique. M. Masia reconnaît que l'hypothèse la plus vraisemblable est la transformation admise par M. Pokrowski de l'oxyde de carbone en acide carbonique.

Dans un second mémoire (3), M. Pokrowski cherche à établir de nouvelles preuves en faveur de la combustion de l'oxyde de carbone ; il discute d'abord longuement la question de la présence de l'ozone dans le sang : « Si l'on parvient à démontrer » dans le sang la présence de l'ozone, l'hypothèse de la combus- » tion de l'oxyde de carbone n'aurait pas besoin d'autre preuve, » car M. Boussingault (4) a démontré que l'oxygène ozonisé par » une lente oxydation du phosphore oxyde l'hydrogène pour for- » mer de l'eau et l'oxyde de carbone pour former de l'acide » carbonique. » Cependant les propriétés ozonisantes du sang

(1) *Archives de Virchow*, 1865, t. XXXIV, p. 244.
(2) *Ibid.*, p. 439.
(3) *Ibid.*, 1866, t. XXXVI, p. 482.
(4) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. LVIII, n° 18.

reposent sur une réaction si insuffisante, la coloration en bleu de la teinture de gaïac, que M. Pokrowski a cherché d'autres preuves en comparant le sang à d'autres substances capables de rendre l'oxygène plus actif. Il essaya l'action du noir de platine sur des mélanges d'oxyde de carbone et d'air ou d'oxyde de carbone et d'oxygène. Or, en laissant ces mélanges gazeux en contact avec un tube renfermant 5 grammes de noir de platine préalablement chauffé au rouge, M. Pokrowski vit diminuer le volume gazeux, et au bout de quelques heures l'acide carbonique fut démontré par l'introduction d'eau de baryte, et l'absorption devint encore plus grande. L'auteur de cette expérience intéressante que j'ai répétée et qui a bien réussi montra de plus que, sous l'influence du noir de platine, la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique est complète à la température ordinaire, s'il y a un volume suffisant dans le mélange gazeux. M. Pokrowski a essayé ensuite si le sang défibriné est capable de produire la même combustion : il introduisit dans des mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène du sang défibriné de Chien ou de Bœuf, et jamais dans aucun cas il ne put constater de diminution de volume et de production d'acide carbonique; cependant le contact du sang avec les gaz avait été rendu plus intime par l'introduction dans le tube à absorption d'une bande de papier enroulée en spirale et que l'on faisait mouvoir avec un fil. Ainsi le sang ne possède pas la même propriété que le noir de platine, et cette expérience paraît ébranler l'hypothèse des propriétés ozonisantes du sang. M. Pokrowski expose ensuite un grand nombre de faits qui sont contraires à cette hypothèse; je ne résumerai pas cette partie du mémoire, mais j'insisterai sur les expériences suivantes, par lesquelles M. Pokrowski termine son travail : Des mélanges de sang de Bœuf oxygéné et de sang de Bœuf oxycarboné furent introduits dans des tubes et maintenus pendant vingt-quatre heures à une température variant de 30 à 42 degrés. Après vingt-quatre heures, les mélanges sanguins étaient introduits dans un appareil à extraction des gaz du sang, mis en communication avec une pompe à mercure; les gaz étaient extraits

complétement, et il résulte des expériences faites que si l'on compare les quantités d'acide carbonique recueillies, on trouve une quantité d'acide carbonique plus grande dans le sang qui avait été agité avec l'oxyde de carbone. Le sang restant dans le récipient a montré dans tous les cas une large bande d'hémoglobine réduite. Dans un cas seulement on reconnut au spectroscope deux faibles bandes qui ne disparurent point par l'emploi du liquide désoxydant de Stokes, ce qui montre qu'il était resté encore de l'oxyde de carbone; mais on avait pris alors trop de sang oxycarboné pour le mélanger avec le sang oxygéné. L'accroissement de la quantité d'acide carbonique dans ces mélanges de sang et la disparition de l'oxyde de carbone ne peuvent s'expliquer que par la combustion de l'oxyde de carbone et la formation d'acide carbonique : telle est l'opinion à laquelle s'arrête M. Pokrowski, opinion qui repose, on le voit, sur un grand nombre d'expériences qui paraissaient avoir fixé définitivement la science sur le mode d'élimination de l'oxyde de carbone.

Expériences de contrôle.— J'ai cherché néanmoins à contrôler la conclusion principale du travail que je viens de résumer en m'attachant, non point à reconnaître s'il y a une production plus grande d'acide carbonique après l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, mais à rechercher si l'oxyde de carbone disparaît du sang quand on place un animal entier empoisonné, ou du sang contenant de l'oxyde de carbone, dans des conditions où, d'après M. Pokrowski, l'oxyde de carbone serait converti en acide carbonique.

J'ai soumis d'abord un mélange de sang oxycarboné et de sang oxygéné contenant des proportions connues de gaz à une température de 40 degrés environ, pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures.

On prend chez un Chien, dans l'artère carotide, un certain volume de sang normal, par exemple 200 centimètres cubes; le sang est défibriné et oxygéné. On détermine successivement les plus grands volumes d'oxygène et d'oxyde de carbone absorbés par 39 centimètres cubes de sang normal, et accessoirement

l'acide carbonique et l'azote contenus dans ce volume de liquide; on trouve :

Oxygène	9,1
Acide carbonique	12,1
Azote	0,75

On détermine le pouvoir absorbant du sang privé de gaz pour l'oxyde de carbone :

Oxyde de carbone	8,5

Puis l'animal est empoisonné par l'oxyde de carbone, par un mélange d'un litre d'oxyde de carbone et de 4 litres d'oxygène; de la veine cave inférieure on fait écouler une grande quantité de sang intoxiqué. On agite $34^{cc},6$ de sang oxycarboné avec de l'oxygène, on extrait complétement les gaz du sang, et l'on obtient :

Oxygène	1,6
Acide carbonique	2,9
Azote	0,7

Puis on détermine le pouvoir absorbant du sang pour l'oxyde de carbone :

Oxyde de carbone	1,25

Ainsi le contenu en gaz des deux échantillons de sang normal et de sang empoisonné est bien connu. On introduit alors dans un flacon retourné sur le mercure 39 centimètres cubes de sang normal et $34^{cc},6$ de sang intoxiqué, volumes égaux aux précédents. Le flacon fermé est placé dans un bain d'eau dont la température est maintenue de 36 à 40 degrés pendant vingt-deux heures; le sang est introduit dans le vide absolu; on extrait les gaz, puis on détermine le pouvoir absorbant du mélange sanguin pour l'oxyde de carbone. On trouve :

Oxygène	0
Acide carbonique	37,9
Azote et autres gaz	2,2
Oxyde de carbone	9,4

Ainsi l'oxygène a complétement disparu : il s'est produit beaucoup d'acide carbonique, car les deux échantillons de sang qui

ont été mélangés contenaient 13,1 + 2,9 = 15 centimètres cubes d'acide carbonique, et l'on en trouve 37,9, c'est-à-dire 22cc,9 en plus. L'azote, dont le volume était égal à 1cc,45, a augmenté de volume, mais il est mélangé d'autres gaz non absorbables par la potasse et par l'acide pyrogallique. Le fait le plus important, c'est que le mélange sanguin maintenu vingt-deux heures à près de 40 degrés put encore absorber 9cc,4 d'oxyde de carbone. Or, 39 centimètres cubes de sang normal ont absorbé 8cc,5 du gaz toxique, et 39 centimètres cubes de sang intoxiqué 1cc,5, en tout 9cc,75 d'oxyde de carbone, nombre très-voisin de 9cc,4. Ainsi l'oxyde de carbone n'a point disparu dans le sang chauffé, qui a conservé pour ce gaz le même pouvoir absorbant qu'auparavant.

On peut donc conclure de cette expérience que l'oxyde de carbone paraît rester dans le sang et qu'il ne se convertit pas en acide carbonique, conclusion tout à fait contradictoire avec les résultats obtenus par M. Pokrowski.

La quantité d'oxyde de carbone reste constante dans le sang quand on fait respirer un animal partiellement intoxiqué dans un volume de gaz limité. — Les expériences de M. Claude Bernard nous ont appris que l'oxyde de carbone disparaît rapidement du sang chez un animal partiellement intoxiqué qu'on laisse respirer dans l'air ; la même élimination a-t-elle lieu chez un animal qui respire dans un volume de gaz limité ? Pour répondre à cette question, on introduit dans un grand ballon de caoutchouc 50 litres d'air et 380 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur (1/140). Chez un Chien du poids de 20 kilogrammes, on adapte la muselière de caoutchouc, et l'on prend dans l'artère fémorale 50 centimètres cubes de sang normal (1) à l'aide d'une seringue. Le sang est immédiatement injecté dans un flacon et défibriné. On fait ensuite respirer à l'animal le mélange toxique ; un appareil composé de flacons contenant de la potasse, et qui sera décrit plus loin, sert à enlever l'acide carbonique à mesure qu'il est formé par la respiration et qu'il est exhalé dans le ballon ; on introduit de temps en temps du gaz oxygène dans le ballon pour

remplacer celui qui est consommé. Trente-sept minutes après le début de l'intoxication, on fait dans l'artère fémorale une deuxième prise de sang, sang intoxiqué (2), qui est de couleur rouge vif; trente et une minutes plus tard on prend dans le même vaisseau un troisième échantillon de sang (3), qui est injecté comme le précédent et agité avec de l'oxygène. Puis on fait respirer dans l'air extérieur l'animal, qui n'a présenté aucun accident, et l'on détermine les plus grands volumes d'oxygène qui peuvent être absorbés par les trois échantillons de sang.

	cc		
100_{cc} de sang normal (1) ont absorbé...	23,1	oxygène sec à 0° et 760^{mm}.	
100_{cc} de sang intoxiqué (2) ont absorbé..	10,5	*id.*	*id.*
100_{cc} de sang intoxiqué (3) ont absorbé.	10,7	*id.*	*id.*

Ainsi 100 centimètres cubes de sang intoxiqué (2) recueilli trente-sept minutes après le début de l'intoxication ont absorbé 10^{cc},7 d'oxygène — 10^{cc},5 d'oxygène, et contenaient 23^{cc},1 — 10^{cc},5 = 12^{cc},6 d'oxyde de carbone, et 100 centim. cubes de sang (3) recueilli soixante-huit minutes après le début de l'intoxication ont absorbé 10^{cc},7 d'oxygène, et contenaient par suite 12_{cc},4 d'oxyde de carbone, c'est-à-dire à peu près autant de gaz toxique que l'échantillon précédent. Donc dans ces conditions, l'oxyde de carbone ne disparaît pas du sang, mais y reste en quantité constante; ce qui n'arriverait pas si ce gaz pouvait être brûlé par l'oxygène dans l'organisme et transformé en acide carbonique.

Les expériences précédentes m'ont conduit à chercher sous quelle autre forme disparaît le gaz toxique. Je me suis demandé tout d'abord si l'oxyde de carbone ne serait pas éliminé en nature, et je me suis livré à un certain nombre d'expériences pour recherchr si cette hypothèse est exacte. Il fallait d'abord un moyen qui permît de reconnaître dans l'air de très-petites quantités d'oxyde de carbone. L'essai que je fis d'abord du protochlorure de cuivre me montra que ce réactif, qui est employé journellement pour l'absorption de l'oxyde de carbone contenu dans un mélange gazeux, est insuffisant quand il s'agit d'absorber de l'oxyde de carbone dans un mélange composé artificiellement et

qui n'en renferme que 1 ou 2 millièmes; ou bien il faudrait employer un grand volume de réactif, duquel il serait difficile d'extraire le gaz absorbé.

J'ai donc construit un appareil qui est très-souvent employé dans les laboratoires de chimie, qui a été utilisé pour la recherche de l'oxyde de carbone, et qui permet de reconnaître et de doser de très-petites quantités d'oxyde de carbone. Il consiste dans l'emploi de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge. Quand on fait passer un courant d'air privé complétement d'acide carbonique, mais contenant de l'oxyde de carbone, dans un tube de verre vert rempli de tournure de cuivre grillée d'abord et chauffée au rouge, on trouve que le gaz, après avoir traversé le tube à combustion, contient de l'acide carbonique qui trouble de l'eau de baryte; un volume d'oxyde de carbone donnant un volume d'acide carbonique.

Description de l'appareil servant à la recherche de l'oxyde de carbone. — Ce tube à combustion est si employé dans l'analyse organique, que je n'aurais pas à décrire l'appareil dont je me sers, si je n'avais employé plusieurs dispositions qui m'ont paru nécessaires pour donner à la recherche une exactitude aussi grande que possible, et pour mettre à l'abri de toute cause d'erreur. Si en quelques points de l'appareil l'air extérieur pouvait entrer, l'acide carbonique de l'air rendrait l'expérience complétement inexacte. Il fallait en outre faire passer très-lentement à travers le tube à combustion un volume de gaz s'élevant parfois à 50 ou 60 litres, dont le passage pouvait exiger quatre jours et quatre nuits; il était donc nécessaire de produire une aspiration très-lente et tout à fait constante. L'appareil se divise en quatre parties : 1° Une première partie se compose du ballon de caoutchouc qui contient le gaz qu'il s'agit d'analyser, de flacons contenant de la potasse destinée à l'absorption de l'acide carbonique, et d'un tube témoin à eau de baryte; 2° du tube à combustion; 3° d'un tube à boules barboteur à eau de baryte; 4° de l'appareil d'aspiration et du régulateur d'aspiration.

1° Le ballon de caoutchouc B (fig. 1), qui est destiné à recevoir

les produits de la respiration d'un animal, doit être d'abord débarrassé de tout gaz autre que l'air ; on le remplit à l'aide de la trompe d'air pris en dehors du laboratoire, puis on le vide ; ce lavage à l'air pur est plusieurs fois répété. On introduit ensuite dans le ballon une solution étendue de potasse, qui n'altère pas le caoutchouc et qui sert déjà à l'absorption de l'acide carbonique. Pour absorber complétement ce gaz, dont il ne doit point rester la moindre trace dans le mélange qui traverse le tube à combustion, on dispose trois éprouvettes à pied et à tubulure inférieure E, qui sont remplies aux deux tiers d'une solution concentrée de potasse. La tubulure supérieure de chaque éprouvette est fermée par un bouchon de caoutchouc qui est traversé par un tube abducteur deux fois recourbé, se rendant à la tubulure inférieure de l'éprouvette suivante, qui est fermée également par un bouchon de caoutchouc. Enfin la troisième éprouvette porte un tube deux fois recourbé, qui se rend à un tube en U précédant immédiatement le tube à combustion. Dans la partie coudée du tube en U, on verse un peu d'eau de baryte qui ne doit jamais présenter le moindre trouble, et montrer que les gaz ont été complétement dépouillés d'acide carbonique : c'est un tube témoin. On peut encore, comme le représente la figure, placer un tube barboteur à eau de baryte C entre les éprouvettes à pied et le tube en U.

Fermetures hydrauliques. — Il est nécessaire que l'appareil garde parfaitement ; pour cela, on adapte autour de la tubulure supérieure de chaque éprouvette un manchon de caoutchouc M qui s'élève à une certaine hauteur et qui est rempli d'eau ; les trois éprouvettes sont plongées dans un vase de zinc cylindrique de grand diamètre Z, qui est également rempli d'eau, de sorte que le niveau de l'eau s'élève au-dessus des tubulures inférieures. Je fais un usage général de ces fermetures hydrauliques, qui donnent une sécurité absolue dans la fermeture des appareils.

2° *Tube à combustion.* — Ce tube, d'abord coudé à angle droit

à une extrémité, puis rempli de cuivre réduit par l'hydrogène et grillé d'abord dans un têt où on l'a fait rougir en le chauffant avec le chalumeau à gaz et air insufflé par la trompe, chalumeau qui existe maintenant dans presque tous les laboratoires. On introduit le tube de verre dans un tube de fer F, large de 4 centimètres environ, dans l'axe duquel on le maintient à l'aide de bouchons; puis on recourbe la seconde extrémité du tube de verre à angle droit dans le même plan que la première. Le tube de fer est placé sur la grille à analyse qui est chauffée au gaz : le tube de fer sert à répartir également la chaleur autour du tube de verre. Il est bon d'employer un régulateur de pression du gaz de l'éclairage, pour maintenir le tube de verre au rouge sombre d'une manière constante et pour éviter la fusion et l'obstruction du tube par aplatissement.

3° A la suite du tube à combustion on fixe un tube en U qui reste vide, et qui communique par un tube de verre recourbé avec un barboteur W, petit appareil de Woolf à trois boules, construit par Alvergniat, et qui est très-commode pour l'absorption des gaz par les liquides. Les tubes en U sont fixés au tube à combustion par des tubes de caoutchouc et sont complétement immergés dans des bocaux pleins d'eau D, F.

Le barboteur, qui est rempli d'eau de baryte, est uni par un tube de verre avec le tube en U, et l'assemblage est enveloppé d'un manchon plein d'eau ; de sorte que tous les points par lesquels l'air extérieur pourrait être aspiré sont complétement plongés dans l'eau.

J'ai fait choix de l'eau de baryte préférablement à la potasse pour plusieurs raisons. On voit s'il y a un précipité de carbonate de baryte, par suite s'il y a eu combustion d'oxyde de carbone ou d'un gaz combustible contenant du carbone. L'emploi de tubes à potasse, que l'on pèse avant et après le passage des gaz, exige que les gaz soient desséchés, ce qui complique beaucoup l'appareil et ce qui présente de grandes difficultés dans le cas où il faut faire passer un grand volume de gaz saturé d'humidité : on ne peut plus alors employer les fermetures hydrau-

liques s'il faut agir sur des gaz secs ; les expériences exigent des pesées très-fréquentes, parmi lesquelles il y en a qui donnent des résultats négatifs ; la seule vue de l'eau de baryte indique immédiatement s'il y a eu combustion ou non.

La décomposition du carbonate de baryte par un acide dans un tube vide uni à la pompe à mercure permet, comme je l'ai indiqué autrefois, de doser très-rapidement et très-exactement en volume l'acide carbonique contenu dans le carbonate.

4° *Appareil d'aspiration.* — Pour aspirer les gaz à travers tout l'appareil, je fais usage d'une trompe très-ingénieuse, qui a été imaginée par M. Iagno, physicien russe, et qui est construite par Alvergniat ; appareil que j'ai vu fonctionner pour la première fois au laboratoire de M. Sainte-Claire Deville, à l'École normale. En dépensant une petite quantité d'eau, cette trompe produit jour et nuit une aspiration continue qui peut aller jusqu'à 70 à 73 centimètres de mercure. Le tuyau d'aspiration est uni à un flacon R qui sert de réservoir à air raréfié. L'ouverture du flacon est fermée par un bouchon de caoutchouc percé de deux ouvertures : l'une des ouvertures communique avec le tuyau d'aspiration de la trompe *t* (la trompe représentée sur la figure est celle qui est construite par M. Solaz, et qui rend également de grands services dans les laboratoires) ; une autre porte un robinet de métal *r* qui est uni par un tube de caoutchouc avec deux barboteurs à eau de baryte ; la troisième ouverture porte un tube de verre qui communique par un tube de caoutchouc avec un régulateur d'aspiration *s* qui est très-simple. Il se compose d'un bocal étroit et cylindrique contenant du mercure ; l'ouverture du bocal est fermée par un bouchon de caoutchouc muni de deux trous traversés par des tubes de verre recourbés : l'un de ces tubes est enfoncé plus ou moins dans le mercure et s'ouvre dans l'air ; l'autre tube pénètre seulement à la partie supérieure du bocal, au-dessus du mercure, et communique avec le réservoir à air raréfié. Si le premier tube enfonce de 5 centimètres dans le mercure, dès que la pression dans le réservoir devient légèrement inférieure à 5 centimètres, l'air extérieur rentre à travers le

mercure et maintient constante cette diminution de pression ; si celle-ci n'est pas suffisante pour faire passer les gaz à travers tout l'appareil, on enfonce un peu le tube dans le mercure jusqu'à ce que le barbotage ait lieu ; puis avec le robinet *r* on règle le passage des gaz, qui doit être très-lent, bulle à bulle.

Essai de l'appareil. — On chauffe au rouge sombre le tube à oxyde de cuivre, puis on fait passer à travers tout l'appareil de l'air pris en dehors du laboratoire. Or constamment, pendant le premier jour, l'eau de baryte placée dans le barboteur W, à la suite du tube à combustion, louchit et donne un précipité plus ou moins abondant ; ce précipité tient probablement à une petite quantité de matière organique ou de carbonate de chaux (poussière) qui adhérait à la surface intérieure du tube à combustion ou qui était mélangé avec le cuivre grillé. Le lendemain, on remplace l'eau de baryte, et l'on recommence à faire barboter lentement l'air pris en dehors du laboratoire. Cette fois on ne trouve généralement plus le moindre trouble de l'eau de baryte quarante-huit heures après le début de l'expérience. Il faut bien se garder, en faisant cet essai, de faire passer l'air du laboratoire, qui donnerait toujours lieu à un précipité, à cause des traces de gaz de l'éclairage que renferme l'atmosphère du laboratoire ; c'est seulement lorsque l'eau de baryte, malgré un barbotage de vingt-quatre heures de l'air extérieur, ne présente pas le moindre trouble, que l'appareil est prêt pour les recherches.

J'ai cherché d'abord si l'appareil à combustion permet de doser à l'état d'acide carbonique tout l'oxyde de carbone contenu dans un mélange gazeux, lorsque la proportion relative de ce gaz est très-faible ; j'ai composé un mélange de 4 litres d'air et de 10^{cc},6 d'oxyde de carbone pur, renfermant par suite 10,6/4010,6 ou 1/378 d'oxyde de carbone. Le barbotage du gaz à travers l'appareil commence à cinq heures du soir. Le lendemain, à huit heures du matin, on trouve le barbotage complétement arrêté, l'air rentre régulièrement par le régulateur d'aspiration ; il y a un précipité abondant de carbonate de baryte dans la première boule du barboteur, un louche seulement dans la

seconde boule, une limpidité parfaite dans la troisième boule et dans la quatrième boule : ce qui montre que les deux premières boules ont suffi pour absorber complétement l'acide carbonique produit. Le ballon de caoutchouc qui avait reçu le mélange gazeux est tout à fait affaissé. On introduit dans le ballon de l'air pris en dehors du laboratoire ; puis on fait passer de nouveau à travers le tube à combustion cet air destiné à déplacer les gaz qui sont restés dans les diverses parties de l'appareil, afin que l'on puisse obtenir autant que possible tout l'oxyde de carbone transformé en acide carbonique. On prend alors un tube plein d'eau distillée qui est uni au tube d'aspiration d'une pompe à mercure ; le vide de l'eau se fait rapidement. A l'aide d'un entonnoir placé au-dessus du robinet de la pompe, on fait pénétrer un certain volume d'acide chlorhydrique étendu ; le tube à réaction est immergé dans un bain d'eau bouillante. On prive de gaz la solution acide et l'on obtient rapidement le vide absolu ; puis on fait pénétrer l'eau de baryte troublée du barboteur, puis un peu d'eau distillée acidulée qui a servi à laver le barboteur dans le tube à réaction contenant l'acide chlorhydrique. On extrait les gaz, et l'on obtient, en faisant le vide absolu :

	cc 11,5	gaz.
Potasse.....	1,3	
	10,2	acide carbonique.

Ainsi on a pris 10^{cc},6 d'oxyde de carbone et l'on retrouve 10^{cc},2 d'acide carbonique, c'est-à-dire un volume à peu près égal. Cette expérience montre que le procédé de recherche par l'oxyde de cuivre est très-sensible, et qu'il peut servir à la fois comme procédé d'analyse qualitative et quantitative.

L'oxyde de carbone existe-t-il dans les produits de la respiration d'un animal empoisonné partiellement par ce gaz toxique? Pour répondre par l'expérience à cette question, on compose dans une cloche tubulée à robinet un mélange de 164 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur et de 4 litres d'air ; ce mé-

lange toxique est introduit dans un ballon de caoutchouc muni d'un robinet. Chez un Chien du poids de 11^{k},700, on applique sur la tête une muselière de caoutchouc qui est mise en communication avec le ballon de caoutchouc; l'animal respire le mélange d'air et d'oxyde de carbone; quatre minutes après le début de l'intoxication, l'animal s'agite, la respiration s'accélère, il y a émission d'urine. On arrête l'intoxication, et on laisse respirer le Chien dans l'air pendant huit minutes, afin que l'oxyde de carbone non absorbé par le sang, et laissé libre dans les poumons, soit éliminé complétement dans l'air; puis on recueille dans un premier ballon de caoutchouc les produits de la respiration. Pour cela, il suffit d'adapter à la muselière un tube muni de deux soupapes très-mobiles, l'une s'ouvrant de dehors en dedans, pour l'inspiration, l'autre de dedans en dehors, pour l'expiration; au-dessus de celle-ci se trouve un tube qui communique avec le ballon de caoutchouc. Il faut neuf minutes pour remplir ce ballon (1), qui est d'une capacité de 20 litres environ.

On remplace le ballon (1) par un ballon de caoutchouc beaucoup plus grand, d'une capacité supérieure à 100 litres; il faut quarante-cinq minutes pour faire remplir ce ballon (2).

L'appareil à combustion étant disposé, et l'essai, consistant à faire passer de l'air pris en dehors du laboratoire pendant vingt-quatre heures, n'ayant donné aucun louche dans le barboteur à eau de baryte, on fait passer sur l'oxyde de cuivre le gaz du premier ballon; lorsque le ballon est entièrement dégonflé, on trouve un précipité manifeste de carbonate de baryte dans le barboteur à eau de baryte qui suit le tube à combustion, et rien dans le tube témoin qui précède le tube à combustion.

On fait ensuite passer sur l'oxyde de cuivre tout le gaz du ballon 2 qui a été recueilli dix-sept minutes après la fin de l'intoxication; le barbotage dure plus de vingt-quatre heures. Le ballon étant dégonflé, on trouve un précipité abondant de carbonate de baryte, qui est décomposé dans le vide par l'acide chlorhydrique; on recueille, à l'aide de la pompe à mercure, 11^{cc},3 de gaz qui renferment 10 centimètres cubes d'acide car-

bonique pur, correspondant à 10 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur.

Cette expérience démontre donc, dans les produits de la respiration d'un Chien recueillis dix-sept minutes après la fin de l'intoxication partielle, la présence d'un corps combustible, qui paraît être l'oxyde de carbone; mais ne peut-on pas objecter que les produits de la respiration des animaux peuvent contenir des matières organiques qui, brûlées par l'oxyde de cuivre, donneraient lieu à la production d'acide carbonique et à la formation de carbonate de baryte : c'est là une objection sérieuse, et qui frappe tout d'abord l'attention; aussi j'ai fait une expérience comparative en suivant la méthode dont mon illustre maître M. Claude Bernard a donné tant d'exemples, la méthode des expériences comparatives, qui permettent seules d'arriver à la vérité, au milieu des phénomènes si complexes que présentent les êtres vivants.

J'ai recueilli chez un Chien laissé à l'état normal les gaz expirés pendant un certain temps, pendant trente-cinq minutes, en ayant soin de faire inspirer à l'animal l'air pris en dehors du laboratoire. En faisant passer tout le gaz expiré, conservé dans un ballon de caoutchouc, à travers l'appareil à oxyde de cuivre, on n'a pas obtenu le moindre trouble dans le barboteur à eau de baryte : ainsi les gaz expirés par un animal laissé à l'état normal ne contiennent aucune matière organique renfermant du carbone qui ne soit absorbable par la potasse, en même temps que l'acide carbonique; ainsi l'air expiré normal ne donne aucun précipité de carbonate de baryte, tandis que l'air expiré recueilli à la suite d'une intoxication partielle produite par l'oxyde de carbone donne toujours lieu à un précipité de carbonate de baryte, et paraît contenir par suite de l'*oxyde de carbone.* Ces expériences comparatives, plusieurs fois répétées, ont donné exactement les mêmes résultats.

L'hypothèse que j'ai faite de l'élimination du gaz oxyde de carbone en nature paraît justifiée; toutefois, pour établir de nouvelles preuves qui puissent apporter une conviction complète dans les esprits, j'ai essayé de confirmer la recherche chimique

par une recherche physiologique : s'il existe une petite quantité d'oxyde de carbone dans les produits de l'expiration recueillis chez un animal partiellement empoisonné par ce gaz, ne serait-il pas possible d'empoisonner un petit animal avec le gaz expiré par un animal plus grand, et de reconnaître l'oxyde de carbone à l'aide des caractères de l'empoisonnement?

Recherche physiologique de l'oxyde de carbone.

On empoisonne partiellement un Chien par l'oxyde de carbone, puis on fait respirer l'animal dans l'air pendant cinq minutes, afin que les mouvements respiratoires chassent dans l'atmosphère le gaz toxique laissé libre dans les poumons; puis on recueille dans un ballon de caoutchouc l'air expiré pendant quinze minutes à l'aide d'un appareil à deux soupapes, soupapes de Müller à eau. Pour faire une de ces soupapes, on prend un petit bocal à moitié plein d'eau, qui est fermé par un bouchon de caoutchouc à deux trous, traversés par deux tubes de verre recourbés à angle droit : l'un des tubes pénètre dans l'eau à une petite profondeur, et s'ouvre dans l'air extérieur; l'autre pénètre seulement à une certaine hauteur au-dessus de l'eau, et communique avec les poumons d'un animal : c'est la soupape d'inspiration. Une autre soupape construite exactement de même est disposée de telle sorte que le tube immergé dans l'eau communique avec les poumons, tandis que le tube de verre, qui pénètre seulement dans l'air du bocal, est fixé à un ballon de caoutchouc lavé avec de l'air pur : c'est la soupape d'expiration. Place-t-on un petit oiseau, un Moineau, sous une cloche qui est remplie avec le gaz expiré, que l'on fait passer du ballon sous la cloche, le Moineau vit parfaitement; l'acide carbonique est absorbé par la potasse; l'oxygène de l'air est absorbé peu à peu par la respiration de l'oiseau, et la mort survient par asphyxie lorsque la proportion relative de l'oxygène devient trop petite. On trouve alors le sang noir dans les vaisseaux et dans le cœur; le sang recueilli dans un tube, et agité avec de l'eau et de l'oxygène, présente les deux bandes d'absorption de l'hémoglobine oxygé-

née, et lorsqu'on ajoute du sulfhydrate d'ammoniaque, on obtient une réduction complète, et la bande unique de l'hémoglobine réduite. Ainsi cette expérience ne démontre nullement la présence de l'oxyde de carbone dans les produits de la respiration du Chien empoisonné.

J'ai pensé que cela peut tenir à ce qu'il existe dans l'air expiré une trop faible proportion relative d'oxyde de carbone : en effet, pour qu'un animal soit empoisonné complétement par ce gaz toxique, il faut une quantité absolue d'oxyde de carbone qui dépend du poids de l'animal, et particulièrement du poids du sang; et en second lieu il faut que l'atmosphère limitée renferme une certaine proportion relative du gaz toxique.

Les expériences de combustion m'ayant montré que le gaz expiré dans les conditions d'une intoxication partielle doit contenir une quantité absolue d'oxyde de carbone suffisante pour tuer un Moineau, j'ai cherché, tout en laissant constante la quantité absolue de l'oxyde de carbone exhalé, à accroître la proportion relative de ce gaz, afin d'obtenir un mélange toxique. Il fallait pour atteindre ce but faire respirer au Chien, partiellement intoxiqué, non pas de l'air, mais de l'oxygène, et recueillir la portion du gaz oxygène non absorbée, mais expirée par l'animal. On pouvait s'attendre à obtenir ainsi un mélange d'oxygène, d'acide carbonique et d'oxyde de carbone éliminé en nature. Ce mélange doit être respiré par un Moineau; l'oxygène est absorbé d'une manière continue; l'acide carbonique produit est absorbé par la potasse : il en résulte que le volume gazeux dans lequel l'oiseau respire ira toujours en diminuant, et par suite la proportion relative de l'oxyde de carbone ira toujours en croissant, et il est possible qu'elle devienne suffisante pour déterminer la mort d'un Moineau, et pour qu'on puisse reconnaître les caractères de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. La réalisation de cette expérience exigeait l'établissement d'un appareil semblable à celui qu'ont employé MM. Regnault et Reiset dans leurs célèbres recherches sur la respiration. L'appareil, tel que je l'ai construit, se compose d'une cloche cylindrique C, fig. 2) d'une hauteur de 60 centimètres envi-

ron, d'un diamètre de 15 centimètres, que l'on retourne sur l'eau; cette cloche est graduée en litres, et sa capacité est de 10 litres. Pour contenir un oiseau dans la cloche, j'ai fait construire une cage soutenue par un flotteur, de telle sorte que l'animal ne peut jamais être mouillé. Le flotteur F est un cylindre creux, de métal, dont les dimensions transversales sont à peu près égales à celles de la cloche; on a soudé sur le flotteur une cage cylindrique formée d'une toile métallique *t* qui peut être ouverte ou fermée à l'aide d'un couvercle de toile métallique; l'axe du cylindre creux est traversé par un tube de métal qui se termine au-dessous du flotteur par une extrémité libre à laquelle on doit fixer un long tube de caoutchouc qui sort de l'eau; l'extrémité supérieure du tube métallique s'élève dans la cage, à une certaine hauteur et se recourbe vers le flotteur.

On introduit un Moineau dans la cage avec une certaine provision de graines, puis on recouvre le flotteur avec la cloche, qui est enfoncée dans l'eau jusqu'à ce que le flotteur vienne rencontrer la partie supérieure de la cloche; l'air, déplacé par l'eau, s'échappe au dehors par le long tube de caoutchouc fixé au centre du flotteur; à l'extrémité libre du tube de caoutchouc on attache un ballon de caoutchouc plein d'oxygène et muni d'un robinet; en soulevant la cloche on fait pénétrer l'oxygène du ballon dans la cloche, aussitôt le flotteur descend; le mélange d'oxygène et d'air est chassé dans l'air; par deux ou trois lavages à l'oxygène on déplace presque complétement l'air de la cloche, qui est remplacé par du gaz oxygène à peu près pur occupant seulement un volume égal à 1 ou 2 litres. Il faut maintenant faire pénétrer dans la cloche le gaz oxygène dans lequel on soupçonne la présence de l'oxyde de carbone, et enlever l'acide carbonique à mesure qu'il est produit. Pour cela on attache le tube de caoutchouc à l'une des branches d'un robinet à trois voies R, du robinet que j'ai employé autrefois pour mesurer le volume des poumons. Une seconde branche du robinet est unie au ballon D contenant l'oxygène et les produits de la respiration du Chien; entre le ballon et le robinet on place une soupape de Müller *m* qui permet au gaz du ballon de passer dans la cloche

lorsque la pression y diminue, mais qui s'oppose au retour du gaz de la cloche dans le ballon. Enfin, la troisième branche du robinet communique avec l'appareil destiné à l'absorption de l'acide carbonique. Cet appareil, qui repose sur le même principe que l'appareil à pipettes de MM. Regnault et Reiset, diffère de celui-ci en quelques points. Il se compose de deux flacons d'un litre à tubulure inférieure, réunis par un large tube de caoutchouc : c'est un appareil tout semblable à celui que M. H. Sainte-Claire Deville a fait connaître et qui est si commode pour préparer l'hydrogène et l'acide carbonique. De ces deux flacons, A et B, qu'on remplit à moitié d'une solution concentrée de potasse, l'un, A, est surmonté d'une grosse ampoule de verre et communique, par un tube de caoutchouc, avec la troisième branche du robinet à trois voies. Le flacon B reçoit un mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement, mouvement qui a pour but d'appeler dans le flacon A le gaz de la cloche qui vient au contact de la solution de potasse et de renvoyer dans la cloche le gaz qui a été privé d'acide carbonique. Ce mouvement est insuffisant pour enlever complétement l'acide carbonique dont la proportion relative dans l'atmosphère de la cloche doit rester très-petite pour que l'oiseau respire dans des conditions normales ; aussi l'expérience a montré qu'il est très-avantageux d'imprimer au flacon A un mouvement d'agitation latérale rapide, qui agite constamment la dissolution de potasse avec le gaz appelé dans le flacon; l'absorption de l'acide carbonique se fait alors plus rapidement et plus complétement. L'utilité de cette grande agitation se reconnaît facilement dans l'analyse des gaz qui contiennent de l'acide carbonique, par exemple dans l'analyse des gaz extraits du sang et recueillis sur le mercure. Si l'on introduit dans le tube gradué un fragment de potasse avec un peu d'eau, et si l'on se contente de soulever et d'abaisser le tube de manière à faire osciller le mercure, on voit qu'il faut répéter un grand nombre de fois la même manœuvre pour que tout l'acide carbonique soit absorbé et pour que le volume du gaz restant devienne invariable; mais si, après avoir fermé le tube gradué avec le pouce, on agite vive-

ment les gaz avec la solution de potasse, l'absorption de l'acide carbonique est complète en un instant. Dans l'analyse des gaz, il est préférable d'employer le premier procédé, qui est plus long, mais qui permet d'éviter la formation d'une mousse gênante pour la lecture des volumes gazeux ; mais quand il s'agit d'enlever à un mélange de gaz tout l'acide carbonique qu'il contient, il vaut mieux employer le second procédé, qui rend l'absorption de l'acide carbonique beaucoup plus rapide. Pour communiquer au flacon A ce mouvement d'agitation latérale, je me sers avec beaucoup d'avantage d'un petit moteur à eau qui est construit par Bourdon et Coque. Ce moteur *m* est une véritable petite machine à vapeur dans laquelle la pression de la vapeur est remplacée par la pression d'une colonne d'eau de 5 à 6 mètres de hauteur ; il suffit d'ouvrir un robinet pour mettre la machine en mouvement et pour communiquer au volant une grande vitesse. Sur l'axe du volant j'ai fait fixer une petite poulie qui, par une corde sans fin, donne le mouvement à une grande poulie P, de bois, mobile autour d'un axe horizontal parallèle à celui du volant ; cette poulie ayant un diamètre de 60 centimètres, tandis que le diamètre de la petite poulie est seulement de 5 centimètres, le mouvement de la poulie P est considérablement ralenti. A une petite distance de l'axe de la poulie P, on a fixé une fiche saillante qui reçoit l'extrémité supérieure d'une longue bielle *b* verticale, dont l'extrémité inférieure porte une corde fixée au flacon B ; le mouvement communiqué à la bielle élève et abaisse successivement ce flacon. A une distance de 10 centimètres de l'axe du volant et sur le volant lui-même, j'ai fait fixer une autre fiche parallèle à l'axe qui reçoit une bielle *h* horizontale en forme de T, dont l'extrémité libre est attachée solidement au flacon à l'aide de cordes ; cette bielle reçoit un mouvement aussi rapide que celui du volant et imprime au flacon A, suspendu librement par des cordes verticales, un mouvement continu qui agite constamment les gaz avec la solution de potasse. L'appareil étant ainsi disposé, on peut faire les expériences suivantes :

Expérience I. — On compose un mélange de 4 litres d'oxygène et de 200 centimètres cubes d'oxyde de carbone. Chez un Chien on fait respirer ce mélange pendant cinq minutes à l'aide d'une muselière de caoutchouc sans provoquer d'accidents. L'animal respire ensuite dans l'air pendant cinq minutes, temps plus que suffisant pour chasser des poumons l'oxyde de carbone laissé libre dans ces organes; on fait communiquer la muselière avec un ballon de caoutchouc contenant environ 20 litres d'oxygène : les mouvements respiratoires sont très-amples, soulèvent et abaissent les parois du ballon. Ce ballon renferme une solution de potasse qui est agitée de temps en temps afin que l'acide carbonique soit absorbé ; au bout de quinze minutes, le ballon est notablement dégonflé par suite de l'absorption de l'oxygène : c'est le gaz laissé dans le ballon qui est soumis à la recherche physiologique. Un Moineau introduit dans la cage sur le flotteur est placé sous la cloche ; on chasse l'air avec de l'oxygène et l'on remplit la cloche avec le gaz du ballon ; l'appareil à potasse est mis en mouvement. Trente-quatre heures après, une partie de l'oxygène ayant été absorbée, on trouve le Moineau mort.

A l'autopsie, les muscles pectoraux sont d'un rouge vif ; il en est de même du cœur et du sang qu'il contient et qui s'écoule lorsqu'on excise le cœur ; le foie et les vaisseaux abdominaux sont également rouges. Le sang recueilli est délayé avec de l'eau distillée, puis filtré sur un linge.

Au spectroscope, malgré l'emploi du sulfhydrate d'ammoniaque, les deux bandes d'absorption persistent : ainsi il est certain que l'oiseau est mort empoisonné par l'oxyde de carbone.

Expérience II. — J'ai fait une série d'expériences comparatives à l'aide du procédé chimique et du procédé physiologique de recherche de l'oxyde de carbone ; il suffira de donner les résultats suivants :

On fait respirer un Chien dans un ballon contenant 4 litres d'oxygène pour faire l'essai de ce gaz et pour rechercher en

même temps si les produits expirés renferment des matières organiques non absorbables par la potasse. L'animal respire dans le ballon pendant cinq minutes; on fait passer le gaz laissé dans ce ballon à travers l'appareil à oxyde de cuivre chauffé au rouge; le barbotage dure deux heures, et l'on n'observe aucun précipité dans l'eau de baryte. Ainsi, les gaz expirés ne contiennent pas trace de matière organique qui ne soit absorbée complétement par la potasse, et l'oxygène ne renferme pas la moindre trace de gaz contenant du carbone.

On compose un mélange de 4 litres d'oxygène et de 200 centimètres cubes d'oxyde de carbone, mélange qui est introduit dans un ballon de caoutchouc et que l'on fait respirer pendant cinq minutes au même animal. La respiration se fait dans l'air pendant cinq minutes, puis successivement dans deux ballons contenant chacun 10 litres d'oxygène, pendant cinq minutes dans le premier, pendant dix minutes dans le second. On recherche l'oxyde de carbone dans les trois ballons à l'aide de l'oxyde de cuivre.

Le premier ballon qui a servi à l'intoxication et qui a reçu d'abord 200 centimètres cubes d'oxyde de carbone impur, dont le coefficient de correction est 0,86, c'est-à-dire qui renfermaient $200 \times 0,86 = 172$ centimètres cubes d'oxyde de carbone pur, ne renfermait plus, après l'intoxication, que 36 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur; par suite, $172 - 36 = 136$ centimètres cubes d'oxyde de carbone ont été absorbés par le sang.

Le second ballon dans lequel l'animal a respiré pendant cinq minutes contenait $7^{cc},9$ d'oxyde de carbone pur.

Enfin, le troisième ballon dans lequel le Chien a respiré pendant dix minutes renfermait $14^{cc},9$ d'oxyde de carbone, c'est-à-dire un volume double à peu près d'oxyde de carbone.

Cette expérience démontre de nouveau le fait de l'élimination de l'oxyde de carbone en nature, et prouve encore que la quantité de gaz éliminé dépend du temps; dans les conditions où je me suis placé, la quantité éliminée d'oxyde de carbone a été proportionnelle au temps, puisqu'en un temps double on a obtenu un volume double d'oxyde de carbone.

Quelques jours après, l'expérience précédente a été répétée exactement dans les mêmes conditions et chez le même animal; mais la recherche de l'oxyde de carbone fut faite avec des Moineaux dans les ballons d'oxygène recueilli cinq minutes et dix minutes après la fin de l'intoxication partielle.

Il était inutile de faire la recherche physiologique dans le premier ballon; on fit la recherche chimique, qui donna 29 centimètres cubes d'oxyde de carbone.

Le gaz du deuxième ballon est introduit dans la cloche avec un Moineau qui meurt au bout de vingt-neuf heures, après avoir absorbé un grand volume d'oxygène. L'autopsie et le spectroscope font reconnaître les caractères de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone; il reste dans la cloche 4^{litr},600 de gaz dans lequel on détermine l'oxyde de carbone restant, à l'aide de l'oxyde de cuivre. On obtient seulement 9^{cc},1 d'oxyde de carbone; ce qui prouve que le Moineau est mort dans une atmosphère qui contenait 9^{cc},1 d'oxyde de carbone pour 4^{litr},600 de gaz ou 1/505, dans une atmosphère renfermant à peu près 1/500 de gaz toxique.

Dans le gaz du troisième ballon qui n'avait pas reçu d'abord 10 litres d'oxygène, mais seulement 4 litres d'oxygène, et dans lequel le Chien a respiré pendant dix minutes, un Moineau est mort au bout de trente-trois heures, après avoir absorbé un grand volume d'oxygène. L'autopsie a montré des muscles pectoraux très-rouges, le sang et le foie d'un rouge vif; et le sang, examiné au spectroscope, n'a présenté aucune réduction lors de l'emploi des agents réducteurs; la persistance des deux bandes d'absorption a duré plus de vingt-quatre heures.

Injection de sang oxycarboné dans les vaisseaux et recherche de l'oxyde de carbone dans les gaz expirés. — J'ai fait encore une autre expérience dans laquelle l'introduction de l'oxyde de carbone dans les poumons fut complétement évitée. On découvrit, chez un Chien, l'artère carotide, et par un ajutage fixé dans le vaisseau on fit arriver dans un flacon rempli d'oxyde de carbone 470 centimètres cubes de sang artériel; le

sang fut agité dans le flacon, et l'oxyde de carbone fut absorbé par l'hémoglobine. On fit, à dix reprises, le vide au-dessus du sang intoxiqué, et l'on fit chaque fois rentrer l'air afin de chasser les bulles d'oxyde de carbone restées incluses dans le sang; puis le sang séparé de la fibrine par la filtration sur un linge fut injecté chez le Chien par l'artère carotide; pendant l'injection, l'animal présentait une grande dyspnée. On fit ensuite respirer le Chien dans une série de ballons contenant de l'oxygène, et ce gaz oxygène fut maintenu pendant une demi-heure en communication avec les poumons. La recherche physiologique faite avec des Rats, des Grenouilles, un Moineau, montra que ces divers animaux moururent empoisonnés par l'oxyde de carbone.

Conclusion. — Il paraît donc résulter de ces expériences que l'oxyde de carbone s'élimine en nature par les poumons. L'importance de ce fait, au point de vue de la physiologie générale, est évidente. L'opinion qui était répandue dans la science, c'est que l'oxyde de carbone, gaz combustible dans nos fourneaux, est également combustible dans l'organisme dans des conditions de température bien moins élevée. Or, mes expériences démontrent que l'oxyde de carbone traverse purement et simplement l'organisme; il se combine avec l'hémoglobine, et la combinaison se dissocie dans les poumons où s'est faite l'absorption. Il faut donc ranger l'oxyde de carbone parmi les substances qui traversent l'organisme sans brûler, sans éprouver de transformation, telles que l'alcool, l'éther, le chloroforme; substances qui agissent cependant, et d'une manière très-énergique, sur les éléments des tissus.

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

Fig. 1. Appareil servant à la recherche chimique de l'oxyde de carbone.

B, ballon de caoutchouc contenant les gaz expirés par un animal empoisonné partiellement par l'oxyde de carbone.

E, éprouvettes à pied, à tubulure inférieure renfermant une solution concentrée de potasse.

C, W, T, tubes barboteurs à eau de baryte placés, l'un C avant, les autres après le tube à combustion.

f, tube de verre vert rempli d'oxyde de cuivre et enveloppé d'un manchon de fer.

D, F, tubes en U immergés dans les bocaux pleins d'eau.

G, grille à analyse organique.

t, trompe simple construite par M. Golaz, produisant l'aspiration des gaz.

R, réservoir à air raréfié par la trompe.

S, régulateur d'aspiration.

r, robinet servant à produire un barbotage très-lent des gaz du ballon B.

m, *m*, *m*, manchons de caoutchouc remplis d'eau (fermeture hydraulique).

z, vase cylindrique de zinc rempli d'eau.

Fig. 2. Appareil servant à la recherche physiologique de l'oxyde de carbone.

D, ballon de caoutchouc contenant les gaz expirés par un animal à la suite d'un empoisonnement partiel produit par l'oxyde de carbone.

C, cloche de verre convenablement suspendue, renfermant une partie du gaz expiré ayant la même composition que celui qui remplit le ballon D.

F, flotteur surmonté d'une cage de toile métallique *t*, dans laquelle on a placé un Moineau.

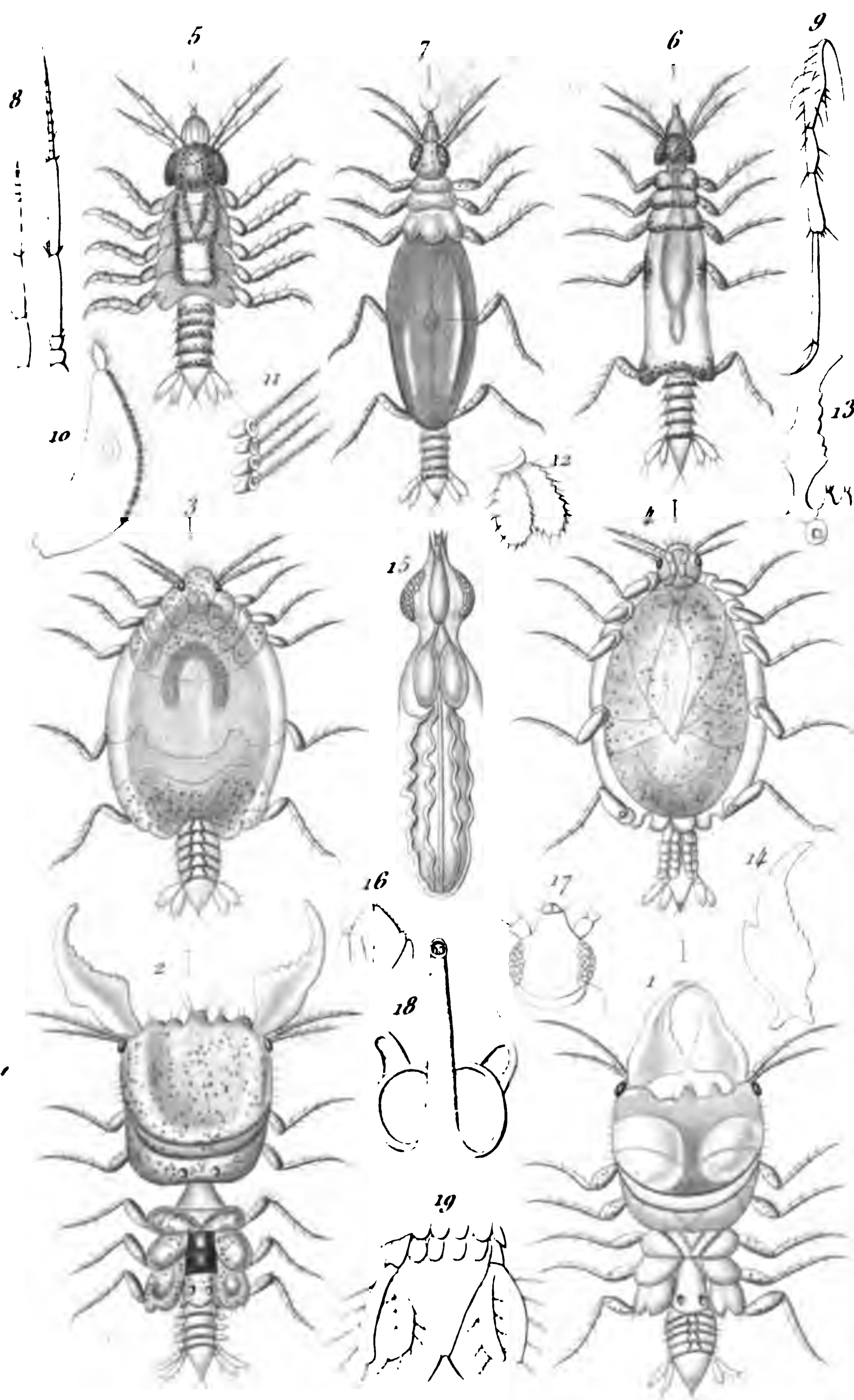
A, B, deux flacons à moitié remplis d'une solution concentrée de potasse destinée à l'absorption de l'acide carbonique produit par la respiration de l'oiseau.

Le flacon A, soutenu en O, reçoit d'un moteur hydraulique M un mouvement continuel d'agitation latérale transmis par la bielle *h*.

Le flacon B, soutenu par la bielle *b*, reçoit un mouvement alternatif de soulèvement et d'abaissement communiqué par la poulie P, mise en mouvement par le moteur M.

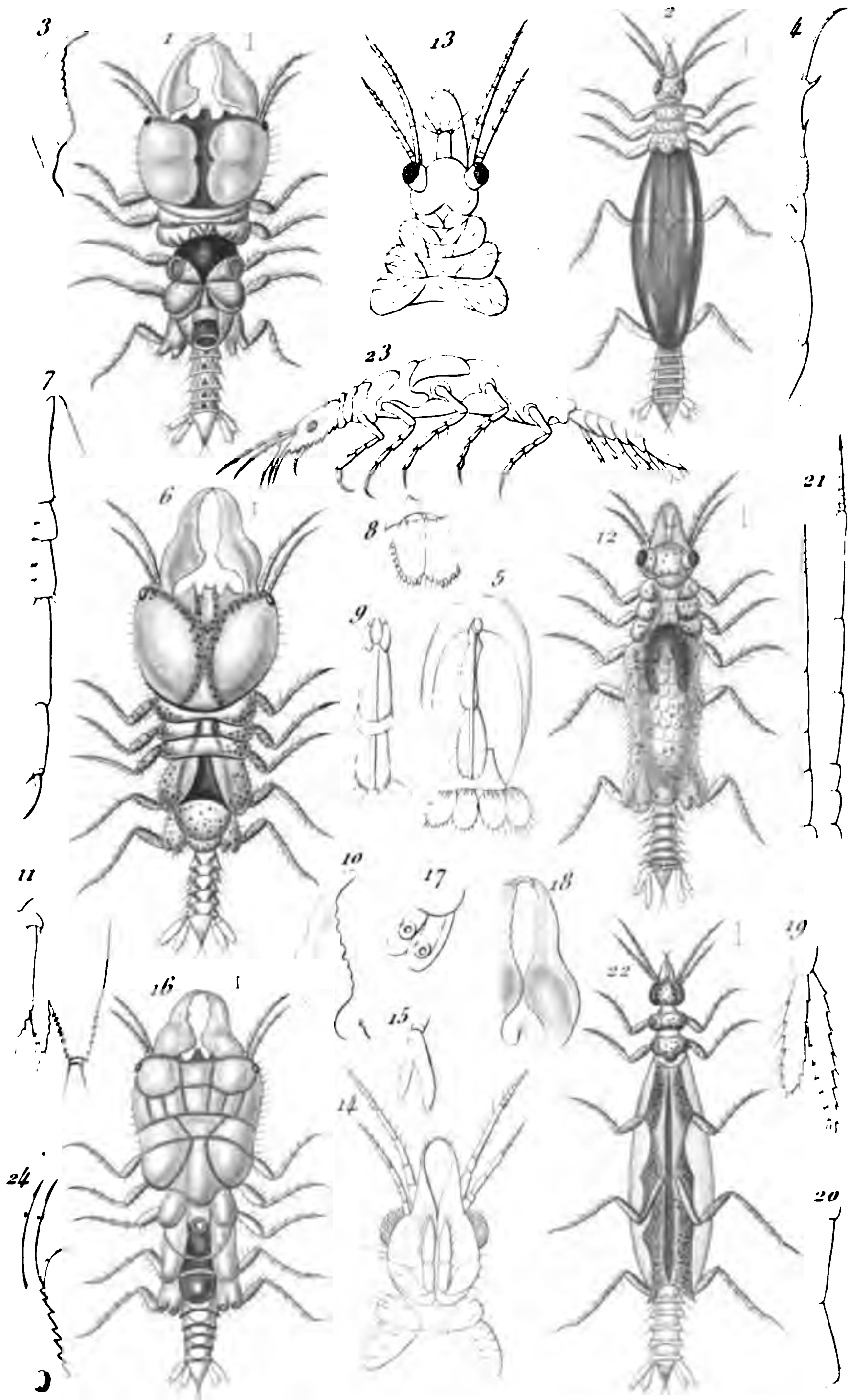
m, soupape de Müller.

R, robinet à trois voies.



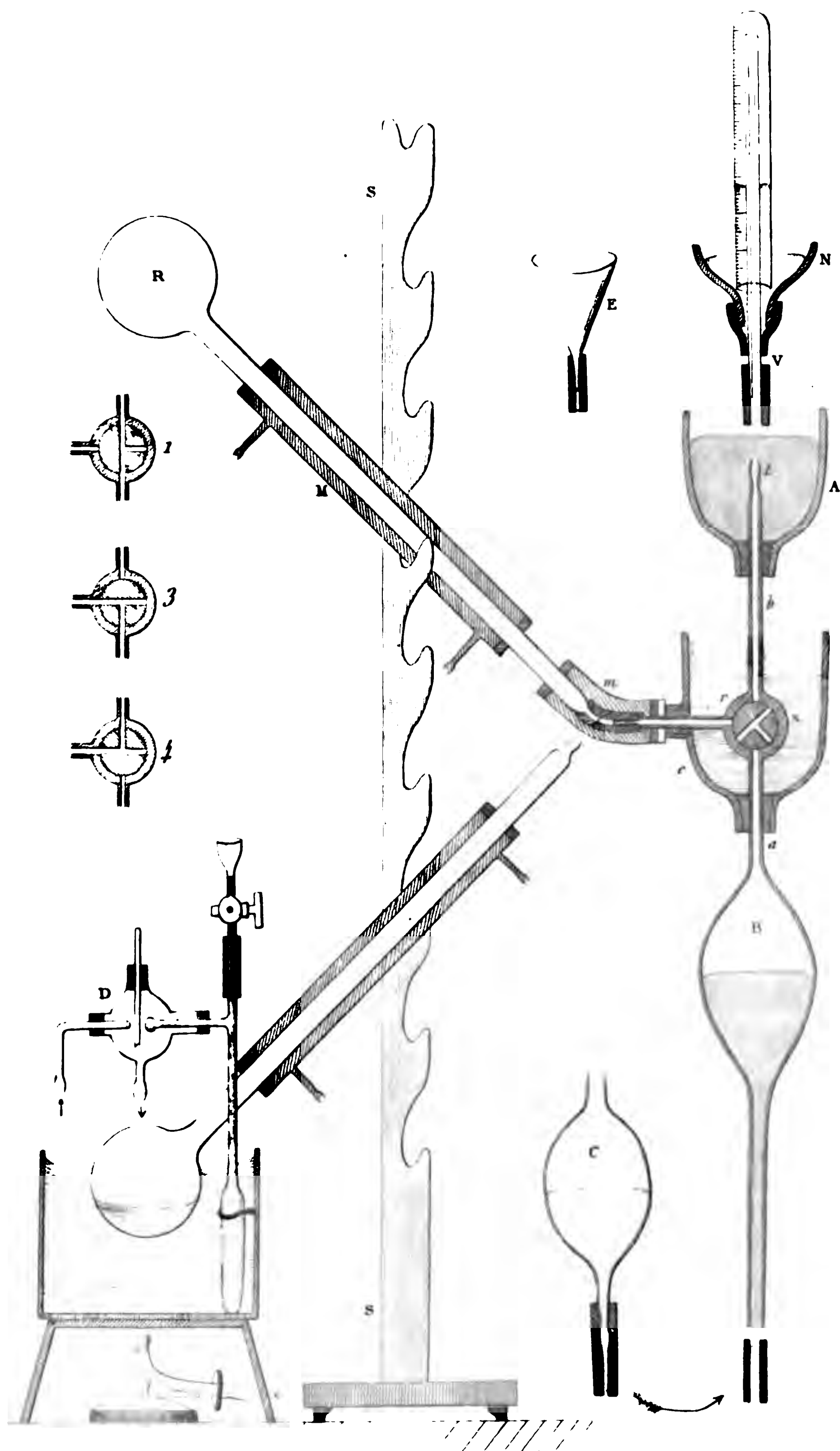
Pranizes et Ancées.

Imp. A. Salmon r. Vieille Estrapade. 15, Paris.



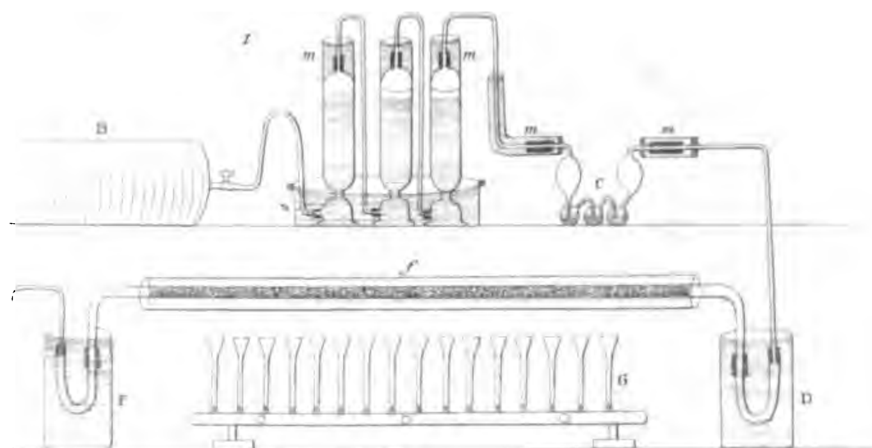
Pranizes et Ancées.

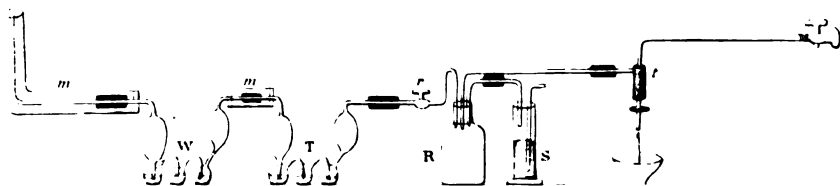
Imp A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15 Paris.

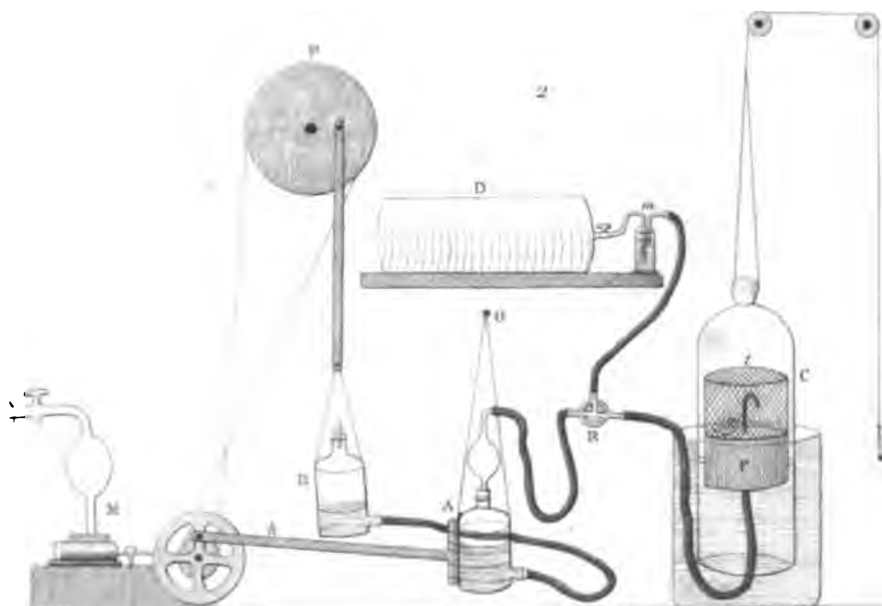


Appareil pour l'analyse des gaz du Sang.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.







Elimination de l'oxyde de Carbone par les poumons.

Imp. A. Salmon r. Vieille Estrapade, 15 Paris.

MÉMOIRE

SUR

DES CRUSTACÉS RARES OU NOUVEAUX

DES COTES DE FRANCE

Par M. HESSE.

(Vingt-quatrième article.)

Description d'un nouveau Crustacé appartenant à l'ordre des *Pycnogonidiens* et formant le genre *Oomère* (1), Nob.

Le Crustacé qui fait l'objet de ce mémoire appartient à cette catégorie d'animaux articulés que la plupart des zoologistes ont considérés comme faisant partie de la classe des *Arachnides*, et que M. Milne Edwards a rangés avec doute dans un petit groupe spécial formant l'ordre des *Aranéiformes* ou des *Pycnogonides*, à raison de ce qu'ils sont privés de trachées et de sacs pulmonaires destinés à la respiration aérienne, et qu'ils paraissent absorber l'oxygène dissous dans l'eau par la surface générale des téguments, comme cela a lieu chez plusieurs Crustacés inférieurs.

Le *Pycnogonidien* que nous décrivons ci-après ne nous semble pas être dans toutes les conditions précitées: nous avons en effet constaté, à la base et au-dessus de ses trois premières paires de pattes thoraciques, la présence d'orifices qui, par leur conformation et leur apparence, ressembleraient à des chambres aériennes pourvues d'ostioles médians ayant l'aspect de *stig-*

(1) De ὠὸν, œuf; μηρός, cuisse.

mates, et semblant avoir une certaine analogie avec les ouvertures que l'on rencontre sur les parties latérales du corps des Insectes, et conséquemment paraissant destinés à remplir des fonctions semblables.

Chez notre Crustacé, ces sortes de stigmates, au lieu d'être, comme dans les Insectes, enfoncés ou au niveau de la surface du corps, sont au contraire saillants et délimités circulairement par un bord en relief d'une certaine consistance, au milieu duquel on aperçoit une membrane mince formant une aréole mobile et contractile, qui est perforée au centre, et qui peut, selon les circonstances, se tendre ou se détendre, de manière à rendre sa surface bombée ou plissée, et à servir par son action à ouvrir ou à fermer l'ostiole qui s'y trouve.

Mais ce ne sont pas les seules particularités que nous ayons à signaler : en le regardant attentivement, d'abord à un faible grossissement, nous fûmes frappé de voir que ses articles fémoraux étaient relativement tuméfiés ; qu'ils avaient aussi une couleur blanche, opaque, qui contrastait avec celle du reste du corps, et particulièrement celle des pattes, qui étaient au contraire transparentes, ce qui donnait à cette partie des pattes un aspect tout à fait spécial.

Soumis au microscope, nous ne fûmes pas médiocrement surpris, en constatant que cette couleur provenait de l'accumulation considérable d'*ovules* qui y étaient réunis, et occupaient le centre du quatrième article des pattes, et aussi le commencement du cinquième, précisément à l'endroit où elles sont le plus larges.

Ces ovules nous semblaient être des *œufs*, dans lesquels on n'apercevait encore aucune trace d'incubation. On n'y voyait pas de pointes pigmentaires annonçant l'apparition de l'œil, qui est un des premiers organes dont la présence se manifeste ordinairement dès le début. Leur taille était extrêmement petite, et leur forme était sphérique ; ils étaient remplis de globules blancs de grosseur inégale. Le corps de ces Crustacés ressemble du reste à ceux des autres *Pycnogonidiens ;* nous allons en donner une description détaillée.

§ 1.

DESCRIPTION.

OOMÈRE STIGMATOPHORE (1). — *Oomerus stigmatophorus*, Nobis.

MALE. — Inconnu.

FEMELLE (2). — Sa taille est tellement petite, et son corps et ses pattes sont d'une telle gracilité, qu'il est presque impossible de l'apercevoir à l'œil nu, et qu'on ne la découvrirait pas si l'on n'était prévenu à l'avance de l'endroit où il faut la chercher. Elle n'a en effet que 3 à 4 millimètres de longueur dans sa plus grande dimension, c'est-à-dire mesurée de l'extrémité des pattes antérieures à celle des pattes postérieures.

La *tête* (3) est relativement assez forte ; elle est précédée d'un *rostre* qui est très-long et très-large, bombé au milieu, s'abaissant sur les bords et terminé par une pointe arrondie. Il est appuyé sur la partie occipitale, qui a la forme d'un écusson dont le bord supérieur ou frontal présente de chaque côté une pointe mousse légèrement relevée, et dont la partie inférieure, qui se termine en pointe, est profondément insérée dans le premier anneau thoracique.

Au milieu et au-dessus du bord frontal, on aperçoit un tubercule (4) arrondi et saillant, à la base duquel sont fixés latéralement les quatre *yeux* de ce Crustacé, qui sont disposés de telle sorte, qu'ils sont braqués dans quatre directions différentes, et qu'ils donnent le moyen d'apercevoir les objets circulairement, sans bouger la tête.

Cette protubérance est divisée en quatre parties égales par une raie cruciale formant quatre compartiments, dans lesquels se trouvent compris les globes oculaires dont nous venons de parler. Il est à remarquer que, dans notre espèce, cette protu-

(1) De στίγμα, stigmate ; φέρω, porter.
(2) Fig. 1.
(3) Fig. 2.
(4) Fig. 2 et 8.

bérance est placée à la base du rostre et au-dessus du bord frontal, tandis que dans les autres *Pycnogonidiens* il se trouve seulement au niveau du bord supérieur du premier anneau thoracique.

De chaque côté de cette protubérance oculifère, se trouve une paire de *pattes-mâchoires* (1) terminées par des pinces plates et allongées, dont les mandibules sont denticulées en dedans. Ces pinces sont portées sur un long article cylindrique, qui leur permet, en dépassant l'extrémité rostrale et en la dominant, de conduire à la bouche les objets qu'elles saisissent.

La tête, soumise à l'action du compresseur, nous a fait apercevoir que l'ouverture buccale était entourée d'une bordure chitineuse, qui doit ou compléter, ou remplacer l'action des mandibules pour triturer les objets.

Le *corps* (2) est composé de quatre anneaux thoraciques, tous à peu près de la même grandeur, qui présentent de chaque côté un appendice du même calibre, mais sans articulation, et conséquemment immobile, auquel elles viennent souder leur premier article (3).

Ces appendices, pour la première paire de pattes, sont dirigés en haut vers la tête (4) ; ceux de la deuxième paire horizontalement, ceux de la troisième obliquement ; enfin ceux de la quatrième verticalement, imprimant ainsi aux pattes, auxquelles ils servent de base, la direction qu'elles suivent.

Le bord inférieur du troisième anneau est arrondi (5) ; il est suivi du quatrième, qui est un peu plus long que les autres et de forme triangulaire. Il est fixé au précédent par son sommet, qui est étroit, et qui s'élargit latéralement et progressivement, de manière à former des deux côtés des points d'attache aux pattes thoraciques de la quatrième paire.

On aperçoit, à la base et au-dessus des trois premières paires

(1) Fig. 2 et 9.
(2) Fig. 1.
(3) Fig. 2.
(4) Fig. 2 et 3.
(5) Fig. 3.

de pattes thoraciques, un petit tubercule (1) saillant en forme de tube tronqué, qui présente au milieu de sa surface plane, comme nous l'avons déjà dit, une légère perforation arrondie, qui semble destinée à remplir chez ces Crustacés les fonctions analogues à celles des *stigmates* dans les Articulés qui vivent dans un autre élément.

Les *pattes thoraciques* sont au nombre de quatre paires ; les premières et les dernières sont plus longues que celles du milieu. Elles ont toutes huit articles (2) : le premier, partant du corps, est très-court, et aussi long que large ; le deuxième est le double plus grand que celui-ci ; le troisième est à peu près de la taille du premier ; le quatrième est le plus grand et le plus volumineux ; le cinquième et le sixième sont beaucoup plus étroits et aussi plus longs ; le septième est très-petit et arrondi, et remplit les fonctions de l'astragale, en facilitant les mouvements de rotation du dernier article, qui est formé d'une main subchéliforme, assez grosse, armée d'une forte griffe flexible qui, en se rabattant sur le bord intérieur, la rend préhensile (3). Le bord est creux en forme de gouttière, et offre de chaque côté deux bords saillants qui sont garnis de fortes épines. Il en est de même de la base de cette main falciforme, qui, outre sa double carène en forme de croissant, présente deux découpures armées de fortes épines. Il est du reste à remarquer que presque tous les articles des pattes sont alternativement courts et longs, de manière à faciliter leurs mouvements, et de leur donner des moyens de flexion plus nombreux.

L'*abdomen* (4) est très-court, très-étroit et cylindrique. Il ne présente pas d'anneau, et est relevé à son extrémité, qui offre un large orifice anal. Il est glabre, ainsi que le corps et les pattes.

Le *tube digestif* est très-volumineux, et parcourt toute l'éten-

(1) Fig. 1, 2, 3, 6 et 7.
(2) Fig. 11.
(3) Fig. 12.
(4) Fig. 1 et 3.

due du corps, et se rend en ligne directe de l'orifice buccal à l'ouverture anale.

Le *système artériel* (1) est très-apparent, non-seulement à raison de la transparence de l'enveloppe tégumentaire du corps, mais aussi de sa coloration d'un rouge très-vif. Le tronc principal, qui est d'un fort calibre et qui occupe le milieu du corps, qu'il parcourt perpendiculairement d'un bout à l'autre, paraît divisé en deux branches parallèles ; mais cette apparence de séparation n'est due qu'à l'opacité du canal intestinal qui suit aussi le même trajet, et qui, étant superposé, empêche d'apercevoir la partie qu'il recouvre.

Le tronc principal se bifurque à la hauteur du bord supérieur du premier anneau thoracique, et émet deux branches qui, après avoir remonté vers la tête en décrivant un ovale, se rejoignent en dessous du tubercule oculaire. D'autres branches, d'un assez fort calibre, partent latéralement à la hauteur des pattes thoraciques et en parcourent toute l'étendue (2).

Le *système nerveux* ne nous a donné lieu à aucune remarque particulière. Il est nécessairement très-fortement organisé pour pouvoir agir à des distances relativement très-grandes, et fournir à des membres d'une longueur aussi prodigieuse le moyen d'obéir à leur action.

Coloration. — Le corps ainsi que les pattes sont d'un jaune pâle, teinte qui contraste avec la couleur blanche, qui est celle des articulations où sont accumulés les œufs. Une raie d'un rouge vif indique le trajet du système artériel, qui parcourt verticalement le corps, et émet latéralement des branches qui vont d'un bout à l'autre des pattes. Les yeux sont rouges, avec des reflets bleus.

Habitat. — Recueilli, le 4 octobre 1873, sur des plantes marines et des polypiers qui étaient attachés à la carène d'un navire que l'eau avait échoué sur la grève à marée basse. Nous en avons trouvé trois exemplaires ; mais, par un accident qui

(1) Fig. 1, 2 et 3.
(2) Fig. 1, 2 et 3.

survint, nous en perdîmes deux, et nous sacrifiâmes l'autre en le soumettant à l'action du compresseur, afin de pouvoir mieux examiner son organisation intérieure.

Les mouvements de ces Crustacés sont extrêmement lents; lorsqu'ils se rencontrent, ils s'enlacent si bien entre eux, qu'il est ensuite très-difficile de les séparer. Nous avons remarqué, à plusieurs reprises, que si, après les avoir isolés, on les remettait ensemble dans un même vase, bien qu'ils soient assez écartés les uns des autres, ils ne tardaient pas à se réunir et à s'enchevêtrer les uns dans les autres, de telle manière qu'il devenait très-difficile de les séparer. Ils s'attachent aussi avec force contre les objets dont on se sert pour les extraire du vase dans lequel on les a mis, et il faut leur imprimer plusieurs secousses assez fortes pour les faire lâcher prise. On conçoit du reste cette adhérence, lorsqu'on examine la terminaison de leurs pattes, qui sont pourvues de moyens de préhension très-complets, et qui doivent leur donner la facilité de se tenir fortement accrochés aux plantes marines qui croissent sur les carènes des navires, et de résister aussi à l'action des flots, que, dans leur navigation, ils ont à refouler.

§ 2.

OBSERVATIONS.

Sur les larves du *Phoxichilidium femoratum*, Rathke, et du *Nymphon grossipes*?

Nous n'avons pas voulu laisser échapper l'occasion qui nous est offerte, puisque nous nous occupons des *Pycnogonidiens*, de faire connaître le résultat de quelques-unes de nos observations sur les larves de deux Crustacés qui appartiennent à cet ordre, et qui, d'après les comparaisons que nous avons faites de nos dessins avec ceux qui figurent dans l'atlas du *Voyage en Islande, au Groenland, en Scandinavie et en Laponie*, sont vraisemblablement celles du *Phoxichilidium femoratum* et du *Nymphon grossipes*.

Les travaux qui concernent ces Crustacés n'étant probable-

ment pas encore très-nombreux, nous avons pensé que les nôtres pourraient avoir quelque utilité en affirmant ce qui serait conforme à nos observations, et en fournissant le moyen de vérifier de nouveau ce qui leur serait contraire.

Les larves du *Phoxichilidium femoratum* (1) sont tellement petites, qu'elles ne peuvent s'apercevoir qu'avec le secours de la loupe. Leur corps est ovale et légèrement bombé en dessus et aplati en dessous. La forme de la carapace a du rapport avec celle des *Décapodes brachyures*, et notamment avec celle des *Eurynomes*. La partie frontale est proéminente, et s'avance horizontalement en pointe arrondie. Elle est dépassée par un prolongement également arrondi (2), qui est placé en dessous du bord supérieur, et qui est celui du rostre. La partie occipitale est limitée par un sillon cutané qui l'entoure. On aperçoit en dessus de la tête et sur le bord frontal deux *points oculaires* qui sont placés à une certaine distance l'un de l'autre.

L'extrémité inférieure du thorax est large et arrondie ; elle présente deux plis ou sillons cutanés formant deux lignes parallèles au bord inférieur de la carapace. De chaque côté de la région occipitale, on aperçoit une paire de pattes antérieures qui sont très-grosses et très-fortes, formées de trois articles à peu près de longueur égale, dont le dernier est une main didactyle armée de pinces longues, courbées en dedans et tranchantes, denticulées au bord, dont les extrémités, en se croisant, lorsqu'elles sont fermées, ressemblent en cela aux mandibules du bec des oiseaux du genre *Loxia*, et laissent au milieu un vide qui provient de leur courbure, qui ne leur permet pas de s'appliquer l'une contre l'autre dans toute l'étendue de leur bord intérieur (3).

En dessous de cette première paire de pattes, on en voit deux autres qui sont assez courtes, cylindriques, et formées de trois articles de grandeur inégale, dont le dernier, qui est le plus petit, est terminé par un prolongement sétiforme d'une longueur re-

(1) Fig. 13, 14 et 15.
(2) Fig. 13.
(3) Fig. 16.

lativement extrême, et qui égale au moins, s'il ne le dépasse, celle des autres articles de ces mêmes pattes (1).

L'autre figure que nous donnons de la larve de ce même Crustacé ne diffère de la première que parce que son corps est plus allongé (2), et que ces pattes antérieures sont beaucoup plus grosses et plus fortes ; on remarque aussi sur le bord inférieur du corps une large ouverture anale. Notre figure 15 représente un individu de la même espèce vu de face, en avant, du côté de la tête, montrant l'ouverture buccale placée à l'extrémité de son tube proboscidiforme.

Les *larves* du *Nymphon grossipes* (3) ont le corps beaucoup plus long et encore plus ovale que celui de l'espèce que nous venons de décrire ; elles ont beaucoup de rapport avec certains *Acaridiens* des genres *Aryas* ou *Cheyletus*. Leur corps paraît formé, indépendamment de la tête, de trois anneaux qui ne sont qu'indiqués par des sillons cutanés circulaires, peu apparents, qui semblent établir ces divisions.

La *tête* est petite ; elle est précédée d'un prolongement rostral cylindrique, arrondi au bout, au milieu duquel on aperçoit l'ouverture buccale.

A la base de la tête, on voit deux *points oculaires* placés de chaque côté, ainsi que deux *palpes filiformes*.

Les premiers anneaux du corps sont plus petits que le troisième, qui délimite l'abdomen, lequel est arrondi à son extrémité inférieure.

Des deux côtés de la tête on aperçoit les pattes-mâchoires, qui sont très-grosses, formées de trois articles, dont le dernier se compose d'une main didactyle (4), dont les branches sont arquées au milieu et denticulées en dedans, et dont les extrémités se croisent lorsqu'elles sont fermées, mais dont les bords intérieurs ne se touchent pas au milieu comme dans l'autre espèce.

Ces pattes sont suivies de deux autres paires qui sont infini-

(1) Fig. 13, 14, 15 et 17.
(2) Fig. 14.
(3) Fig. 18 et 19.
(4) Fig. 20.

ment plus courtes et plus minces (1) et cylindriques, formées de trois anneaux, et terminées par une griffe assez longue et recourbée, mais bien moins longue que dans l'espèce précédente.

Coloration. — Les larves de ces deux espèces sont d'une couleur jaune pâle; les points oculaires sont d'un rouge vif.

Habitat. — Nous avons trouvé le *Phoxichilidium femoratum*, Rathke, aux environs de Brest, sous les pierres, le 10 mars 1867, à une grande marée basse, et les *Nymphon grossipes* les 3 avril et 3 mai 1872, également à une grande marée basse, sous les pierres. Il y avait dans cette dernière espèce deux mâles et une femelle ; celle-ci, faute de nourriture, dévora successivement les deux mâles. De leur côté, les embryons parurent se nourrir pendant quelque temps des débris qui restaient.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à chercher, pour le Crustacé que nous venons de décrire, la place qu'il convient de lui assigner dans la nomenclature carcinologique, en tenant compte des particularités exceptionnelles d'organisation qu'il présente.

§ 3.

SYSTÉMATISATION.

Il nous a paru d'abord évident que, par suite de la forme générale de son corps et des nombreux caractères qui le rapprochent des individus qui appartiennent à cet ordre, il doit être rangé sans hésitation parmi les *Pycnogonidiens;* mais qu'une fois admis dans cette catégorie, il ne peut y être maintenu qu'en créant un genre spécialement pour lui.

Si nous consultons en effet le tableau que M. Johnston a établi pour cette famille, et que M. Milne Edwards a reproduit dans son *Histoire naturelle des Crustacés* (3e volume, page 532), nous voyons que notre espèce ne peut entrer dans la première catégorie des *Pycnogonidiens* du genre *Nymphon*, parce que ses pattes-mâchoires ne sont pas garnies de palpes; qu'elle ne peut non plus figurer parmi les *Palènes*, parce qu'elle n'a pas de

(1) Fig. 21.

pattes accessoires ovifères; enfin qu'elle ne saurait être placée avec les *Phoxichilidiens*, parce qu'elle a la tête très-allongée, et que, de plus, elle n'a pas, comme nous venons de le dire, de *pattes accessoires ovifères*. Il nous semble donc qu'il y a des motifs suffisants pour créer en sa faveur un nouveau *genre*, auquel nous donnerons le nom d'*Oomère*.

Mais cette séparation suffira-t-elle en présence des caractères particuliers que nous avons constatés, et qui sembleraient le rapprocher des *Arachnidiens*, dont, comme on le sait, les *Pycnogonidiens* ont été distraits? Ne faudra-t-il pas créer aussi pour lui un nouvel *ordre* intermédiaire, qui établira une transition moins tranchée que celle qui existe actuellement entre ces deux classes d'Articulés?

Pour le moment, nous nous bornerons à ne parler que de ce que nous avons constaté sur un seul individu, un accident nous ayant empêché de vérifier, sur les deux autres que nous possédions, les caractères particuliers que nous avions remarqués sur celui-ci, mais qui, dans un premier examen que nous en avons fait, nous semblaient exactement reproduits chez les autres.

Nous commencerons d'abord par signaler une particularité qui distingue notre Crustacé de ceux qui font partie des *Pycnogonidiens*, et qui consiste à avoir le tubercule oculaire placé *à la base du rostre* et au-dessus du bord frontal, tandis que, chez les autres espèces de cet ordre, il se trouve toujours fixé *à la base de la tête*, en dessus du premier anneau thoracique.

Comme nous l'avons dit précédemment, nous avons reconnu la présence sur la partie latérale, et au-dessus de la naissance des trois premières pattes thoraciques, de petites éminences ayant la forme de tubes tronqués, au milieu de la surface desquels nous avons aperçu une petite ouverture ayant toute l'apparence de *stigmates*. Nous n'avons pu, il est vrai, nous assurer que ces ouvertures communiquassent avec des *trachées*, de sorte que, par ce fait, nous ne pouvons affirmer que ce soit réellement des organes destinés à la respiration aérienne; mais comment expliquer la présence en cet endroit d'orifices qui ressemblent à des *ouvertures stigmatiques*, s'ils n'avaient pas un but d'utilité?

On ne peut en effet raisonnablement les considérer comme un effet du hasard, à moins que ce ne soit une illusion de notre part, chose qui peut encore arriver.

Il est difficile, il est vrai, d'expliquer dans quelle intention des *appareils pneumatiques* auraient été donnés à des Crustacés destinés à vivre constamment submergés, sauf les cas exceptionnels où, par de grandes marées, ils sont découverts par les flots, ou attachés, comme l'étaient ceux-ci, à la carène d'un navire, ils sont dans ses manœuvres momentanément découverts par les flots, et qu'ils aient alors le temps de renouveler ou de faire provision de l'air qui leur serait nécessaire pour leur respiration. Mais ces circonstances, ainsi qu'on le voit, ne sont que très-éventuelles, et conséquemment ne sauraient être invoquées à titre de situation normale. Nous sommes donc réduit, comme cela arrive souvent lorsqu'on cherche à pénétrer les secrets de la nature, à constater les faits, sans pouvoir en donner l'explication. Cependant on peut admettre, croyons-nous, sans hésitation, en supposant que les organes dont nous venons de parler leur aient été donnés par surcroît et pour des occasions exceptionnelles, qu'ils puissent vivre de la même manière que les autres *Pycnogonidiens*, avec lesquels ils ont des rapports si intimes, c'est-à-dire en absorbant par les pores de leur enveloppe tégumentaire l'air atmosphérique qui se trouve dissous dans l'eau ; d'ailleurs nous ajouterons que les animaux qui vivent alternativement dans l'air et dans l'eau ne sont pas rares, et qu'à ce point de vue l'organisation de notre Crustacé ne pourrait être considérée comme un fait tout à fait anormal (1). On peut dire aussi, non sans raison, que nous ne connaissons pas assez les mœurs de ces Crustacés pour pouvoir affirmer que le lieu où nous les avons rencontrés leur soit habituel, et qu'ils ne vivent pas

(1) Pour ne citer qu'un fait qui nous est parfaitement connu, nous avons fréquemment trouvé à marée basse, sur les pierres, particulièrement celles qui sont poreuses, un très-curieux Hémiptère du genre *Xylocorio?* qui vit caché dans les cavités de ces pierres qui ne découvrent qu'aux syzygies : d'où il résulte qu'il reste pendant un temps relativement considérable privé d'air, ou du moins dans l'impossibilité de le renouveler ; et cependant les organes respiratoires sont organisés comme ceux du genre auquel il appartient.

ordinairement dans les zones du rivage qui émergent à chaque marée.

Mais ce n'est pas, comme nous l'avons dit, la seule chose étrange que nous ayons constatée chez ce Crustacé; il en existe une autre qui nous paraît encore plus extraordinaire, et qui probablement n'a pas été observée : nous voulons parler de la présence des œufs dans l'intérieur des pattes thoraciques.

Ces granulations placées dans les articles les plus volumineux des pattes, qui semblent, par une disposition particulière, avoir été appropriées à cette destination, ne sauraient être confondues, pensons-nous, avec les longs filaments nerveux et musculaires qui les parcourent dans toute leur étendue; leur couleur blanche mate et leur opacité forment un contraste frappant avec l'aspect des autres parties de ces pattes, qui sont au contraire remarquables par leur transparence. Nous croyons donc ne pas nous être trompé dans ce que nous avons vu, d'autant plus qu'à raison de l'étrangeté du fait, notre attention s'est particulièrement fixée sur ce point. Il ne sera pas non plus inutile de faire remarquer que notre *Pycnogonidien* est peut-être le seul dont les femelles n'ont pas de *pattes accessoires ovifères*, et qui ne puisse conséquemment, comme ceux de son espèce, maintenir ses œufs fixés à ces appendices; d'un autre côté, il est évident qu'à raison de la gracilité de son corps, il lui serait impossible de les y loger. Il a donc fallu de toute nécessité aviser à un expédient qui pût remplir le même but, et, à cet effet, les répartir dans la capacité des huit pattes thoraciques, dont les articles fémoraux semblent avoir été appropriés à cette destination.

Telle est l'explication que, pour le moment, nous croyons devoir donner de cette étrange disposition, en attendant que nous ayons pu en trouver une plus concluante, et vérifier de nouveau les faits que nous signalons. Nous ajouterons qu'il n'y aurait rien d'étonnant que ces particularités existassent chez d'autres individus, et que si elles ont échappé jusqu'ici à l'observation, c'est que, pour les constater, il faut absolument avoir à sa disposition des individus *vivants* ou dans un état parfait de conservation. Or ces conditions ne peuvent se réaliser que lorsqu'on habite les

bords de la mer, et malheureusement il y a peu de naturalistes qui jouissent de cet avantage.

Relativement aux *larves* du *Phoxichilidium*, que nous croyons être celles du *femoratum*, qui figurent dans l'atlas du *Voyage en Scandinavie et en Laponie* (1), nous devons dire que les longues soies qui terminent leurs pattes, comme cela a lieu chez les *Acariens*, et notamment chez l'*Acarus scabiei* (2), ne sont pas d'une longueur aussi démesurée que celle des individus représentés dans cet atlas ; nous devons ajouter que nous les avons vus, malgré cette longueur disproportionnée, et conséquemment la difficulté qu'ils devaient éprouver de communiquer le mouvement à des extrémités aussi éloignées du point d'impulsion, s'en servir néanmoins en manière d'*échasses*, pour progresser avec lenteur, il est vrai, et en titubant et d'un pas mal assuré.

Ces soies ne sont pas les seuls points de ressemblance que les larves de *Pycnogonidiens* aient avec les *Acaridiens*. On trouve

(1) Les larves du *Nymphon grossipes* représentées dans l'atlas du *Voyage en Scandinavie et en Laponie* (pl. 30, fig. 1 B et 1 C), ainsi que celles du *Phoxichilidium femoratum* (même planche, fig. 6), devaient certainement avoir des points oculaires comme ceux que nous avons figurés dans la nôtre et que nous avons dessinés *vivants*. Il est à présumer que c'est à leur état de macération dans l'alcool qu'il faut attribuer leur disparition. Nous remarquons, en effet, que tous les Crustacés qui figurent dans les planches de ce magnifique ouvrage paraissent tuméfiés et sont presque entièrement décolorés ; bien plus, il nous semble que les teintes qui leur ont été données ne sont pas celles qu'ils ont reçues de la nature, mais le résultat des altérations produites par l'action de cette liqueur corrosive, qui modifie d'une manière si fâcheuse les formes et les couleurs en y substituant d'autres qu'il vaudrait peut-être mieux ne pas donner du tout. Ainsi le système artériel qui, dans les *Pycnogonidiens*, se signale d'une manière si visible chez les individus vivants par sa couleur rouge éclatante qui en indique le parcours, fait défaut dans les Crustacés de cette espèce. Les *Chevrolles*, qui sont si remarquables par la richesse et la coloration des dessins dont elles sont ornées, sont représentées (planches 24 et 25) avec une teinte vineuse plate et uniforme qui, évidemment, n'a jamais été celle qu'elles avaient avant leur immersion et lorsqu'elles étaient vivantes. La couleur verte avec laquelle est représenté l'*Apus glacialis* (pl. 40, fig. 1 A, A'' et A''') est aussi due à la même cause. Nous en avons fait l'expérience nous-même sur notre *Apus productus*.

(2) Voyez les planches 1, 2, 3 et 4, d'une exécution si parfaite et d'un fini remarquable, jointes au mémoire zoologique et anatomique sur diverses espèces d'*Acariens* de la famille des Sarcoptides, de M. le docteur Charles Robin.

dans les genres *Cheyletus* et *Argus* l'équivalent des pattes-mâchoires qu'on rencontre dans les larves de ces Crustacés. Enfin il est à remarquer que le nombre des pattes change chez les uns et les autres en passant de l'état larvaire à celui d'adulte. Ainsi les larves d'*Acaridiens* n'ont que six pattes, et huit lorsqu'ils sont adultes. Les *Pycnogonidiens* n'en ont que quatre, et huit lorsqu'ils ont subi leur dernière transformation. Enfin nous devons également mentionner les modifications qui s'opèrent dans le *système oculaire*, représenté seulement dans la larve par deux points assez écartés l'un de l'autre, et qui viennent, en doublant leur nombre, se concentrer sur une petite protubérance placée à la base du prolongement rostral chez les adultes.

Relativement à la larve du *Nymphon grossipes*, nous n'avons presque rien à ajouter à ce que nous avons dit à l'occasion du *Phoxichilidium femoratum*, attendu qu'elles ont beaucoup de ressemblance entre elles, et conséquemment ce que nous avons constaté chez les uns se trouve à peu près reproduit chez les autres.

La larve du *grossipes* est de forme plus ovale et plus allongée; son rostre est aussi plus apparent et plus long. On remarque de chaque côté un petit filet qui est probablement destiné à se transformer en *palpe;* on voit encore les pattes-mâchoires qui, comme dans l'autre espèce, sont très-longues et très-robustes; enfin les pattes thoraciques, au nombre de deux paires, sont courtes et munies d'une griffe recourbée qui, quoique assez allongée, est cependant très-courte relativement aux longues soies qui terminent les pattes semblables des larves du *femoratum*.

Voici les modifications que nous proposons de faire subir au tableau qui figure dans l'*Histoire naturelle des Crustacés* de M. Milne Edwards, page 532, afin d'y caser notre nouvelle espèce :

Tableau synoptique des genres qui composent actuellement l'ordre des Pycnogonidiens.

- Pycnogonides
  - ayant des pattes-mâchoires
    - garnies de palpes très-longs..................... Nymphon.
    - dépourvues de palpes.
      - Tête allongée.
        - Pas de pattes accessoires ovifères; œufs renfermés dans les articles fémoraux des pattes thoraciques; ouvertures latérales trachéiformes........ Oomère.
      - Tête courte.
        - Pattes accessoires ovifères, composées de neuf ou de dix articles.................. Palène.
        - Pattes accessoires, ovifères, de cinq articles............. Phoxichilide.
  - dépourvus de pattes mâchoires....
    - Pattes longues; pattes accessoires de sept articles...... Phoxichile.
    - Pattes courtes; pattes accessoires de dix articles....... Pycnogonon.

Voici les caractères qui serviront à faire reconnaître le nouveau genre que nous proposons de créer :

Genre OOMÈRE. — *OOMERUS*.

Male. — Inconnu.

Femelle. — *Rostre* long, aplati et obtus à son extrémité, accompagné de chaque côté et en dessus de deux *pattes-mâchoires* terminées par une pince allongée. *Tubercule ovifère* placé à la base du rostre et en dessus du bord frontal. *Tête* large, présentant extérieurement, de chaque côté, une pointe obtuse. *Corps* grêle divisé en quatre anneaux, donnant attache à quatre *paires de pattes thoraciques* très-grêles et très-longues, contenant les *œufs* dans leur article fémoral, et conséquemment sans *fausses pattes* ovifères. Trois *ouvertures stigmatiques?* placées de chaque côté, à la base et en dessus des trois premières pattes thoraciques. *Abdomen* cylindrique, soudé et légèrement relevé au dernier article thoracique.

Coloration. — Tout le corps est d'un jaune pâle. Les yeux, ainsi que le système artériel, sont d'un rouge vif. Les œufs sont blancs durant leur incubation.

Habitat. — Trouvé vivant au nombre de trois exemplaires,

accrochés à des plantes marines fixées sur la carène d'un navire, en rade de Brest.

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 8.

Fig. 1. *Oomère stigmatophore*, vu en dessus, amplifié trente fois.

Fig. 2. Tête du même, considérablement grossie, vue en dessus, montrant de chaque côté du rostre, qui est très-long, très-large et très-aplati, une paire de pattes-mâchoires à la base desquelles on aperçoit la protubérance oculifère placée en dessus du bord frontal, qui se relève de chaque côté en pointe mousse. La tête suivie des deux premiers anneaux thoraciques, ayant latéralement des appendices qui servent de base et de points d'attache aux premières pattes ambulatoires, à la naissance desquelles et en dessus on aperçoit les ouvertures stigmatiques.

Fig. 3. Partie inférieure du thorax, également très-grossie, montrant les deux derniers anneaux du corps avec les appendices des pattes dont les deux derniers sont dirigés en bas et sont placés de chaque côté du tube abdominal, qui est légèrement relevé à son extrémité inférieure. On voit aussi au-dessus de la naissance de l'avant-dernière paire de pattes thoraciques, de chaque côté du corps, une ouverture stigmatique.

Fig. 4. Quatrième article fémoral d'une patte thoracique considérablement grossie, montrant les ovules dont elle est remplie.

Fig. 5. Un de ces ovules très-grossi.

Fig. 6 et 7. Orifices stigmatiques montrant la peau dont elle est recouverte au milieu, lorsqu'elle est tendue ou distendue.

Fig. 8. Yeux de ce Crustacé, placés à la base d'un tubercule autour duquel ils sont braqués de quatre côtés, de manière à voir tout autour de lui sans être obligé de bouger la tête.

Fig. 9. Extrémité supérieure d'une des pattes-mâchoires qui est placée en dessus et à la base du rostre, et dont les pinces sont disposées de manière à pouvoir porter à l'ouverture de l'orifice buccal les objets qu'elle a saisis.

Fig. 10. Extrémité du rostre très-grossi, soumis à l'action du compresseur qui a fait sortir, par suite de son écrasement, un bord chitineux, dentelé, qui doit probablement remplir les fonctions de mâchoires et servir à triturer les objets.

Fig. 11. Une de ses pattes thoraciques très-grossie.

Fig. 12. Extrémité inférieure de cette patte, encore beaucoup plus amplifiée, montrant la main subchéliforme qui la termine et qui lui permet de saisir avec force les objets sur lesquels elle se cramponne.

Fig. 13. Larve du *Phoxichilidium femoratum?* extrêmement grossie, vue en dessus.

Fig. 14. La même larve vue également en dessus, mais arrivée à une période différente de transformation.

Fig. 15. Larve du même, vue de face et en dessus, tournée du côté de la tête

Fig. 16. Patte-mâchoire du même, très-grossie.

Fig. 17. Patte ambulatoire du même, également très-amplifiée .

Fig. 18. Larve du *Nymphon grossipes* très-grossie, vue de profil.

Fig. 19. La même, vue en dessus.

Fig. 20. Patte-mâchoire de la même, très-grossie.

Fig. 21. Patte thoracique ambulatoire de la même.

TABLE

GÉNÉRALE ALPHABÉTIQUE ET RAISONNÉE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LES 20 VOLUMES DE LA 5e SÉRIE,

SUIVIE D'UNE

TABLE GÉNÉRALE DES AUTEURS

DONT LES TRAVAUX Y SONT INSÉRÉS

TABLE

DES

ANNALES DES SCIENCES NATURELLES

Cinquième série (1865-1874)

TABLE DES MATIERES

PARTIE ZOOLOGIQUE

A

B

C

F

G

N

P

R

S

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

TABLE DES AUTEURS

I

J

K

L

M

U

V

W

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

TABLE DES MATIÈRES

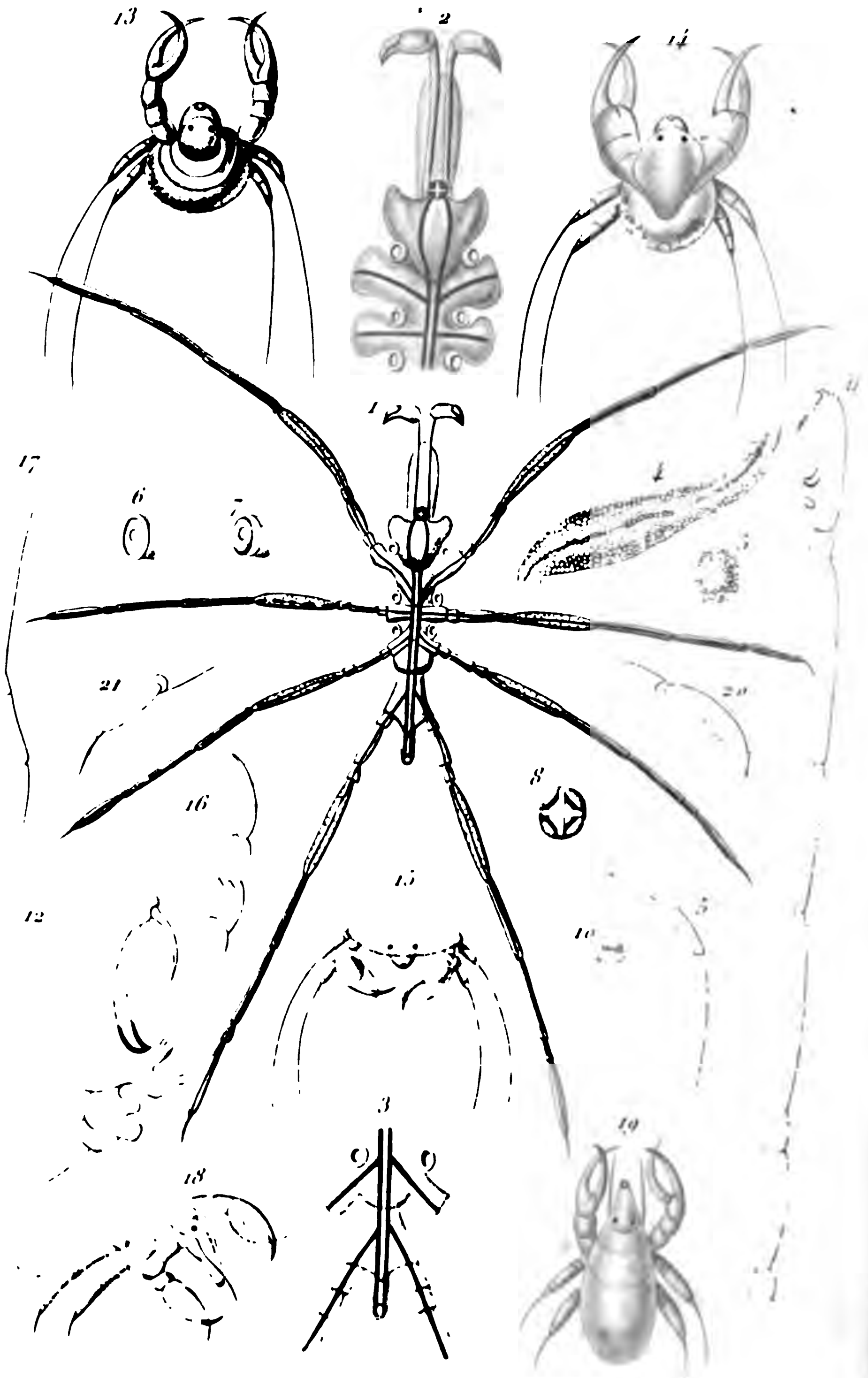
PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE DES PLANCHES

RELATIVES AUX MÉMOIRES CONTENUS DANS CE VOLUME.

FIN DES TABLES.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2



Ontocère stegmaphore, etc.

